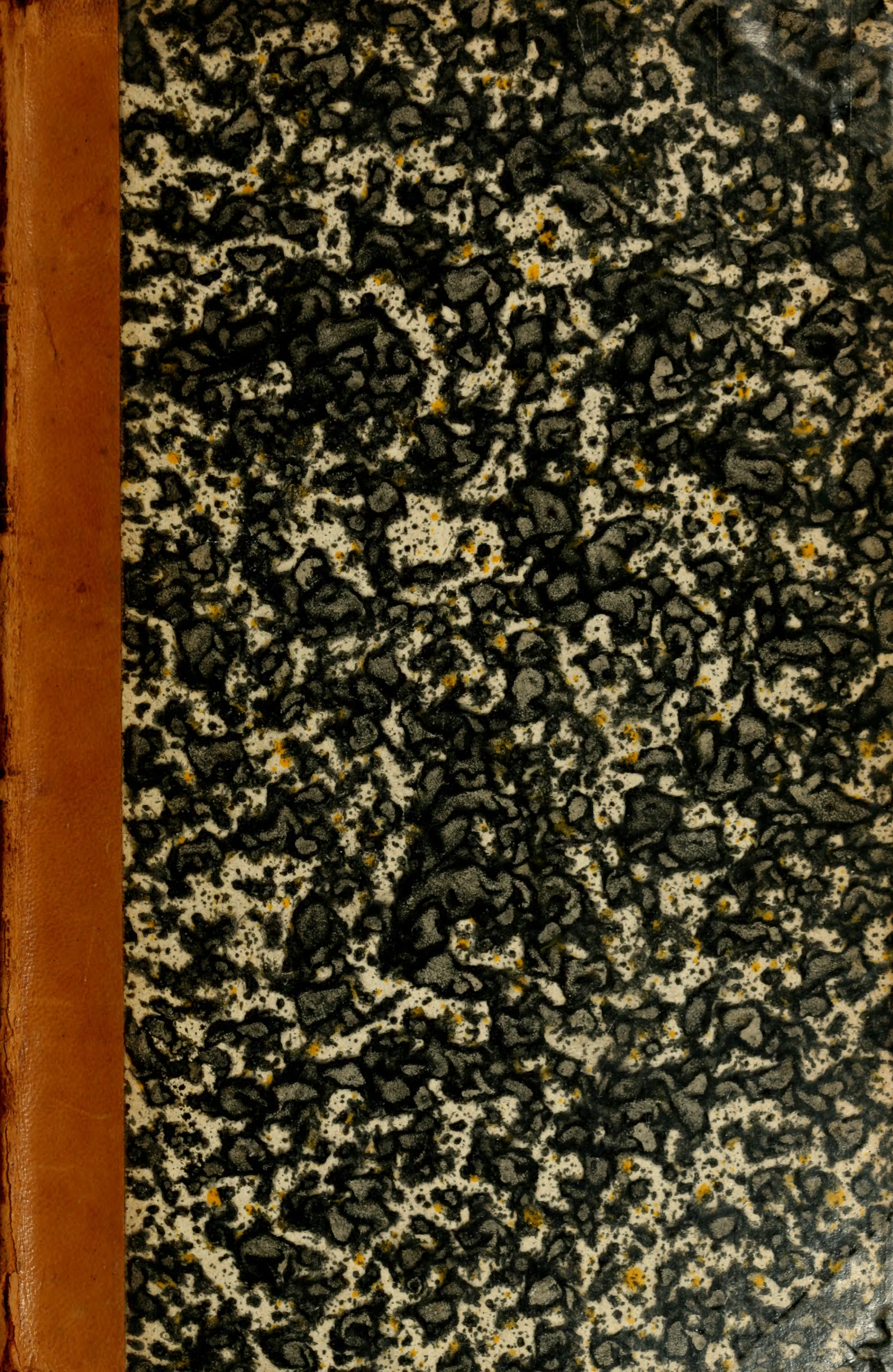
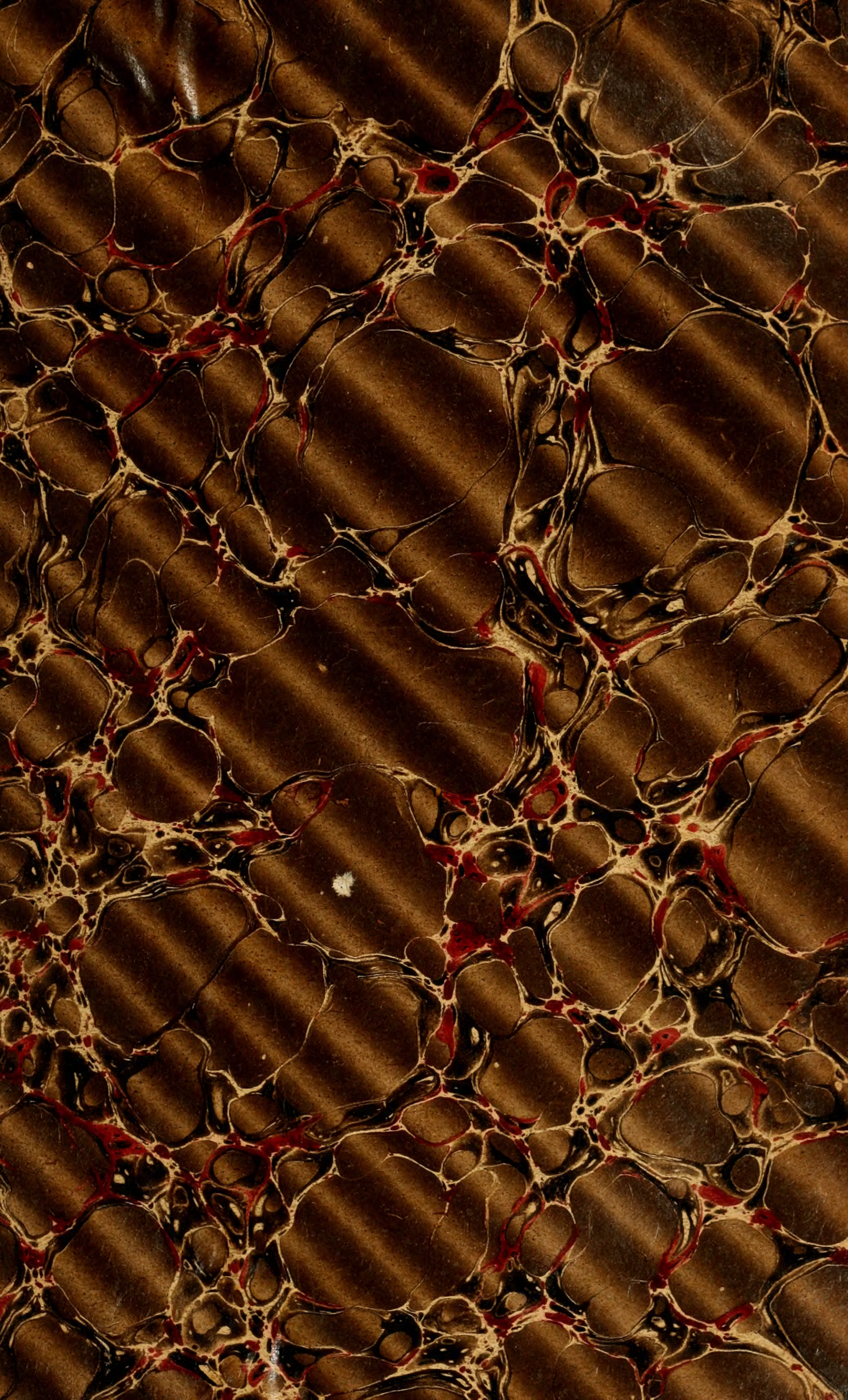
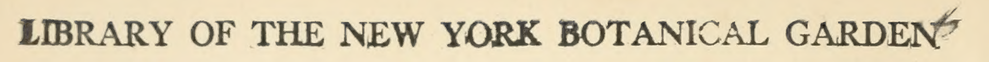












# ANNALES

DE LA

# SCIENCE AGRONOMIQUE

## FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

NOTA. — *Tous les ouvrages adressés* franco *à la Rédaction seront annoncés dans le premier fascicule qui paraîtra après leur arrivée. Il sera, en outre, publié s'il y a lieu, une analyse des ouvrages dont la spécialité rentre dans le cadre des* Annales (*chimie, physique, géologie, minéralogie, physiologie végétale et animale, agriculture, sylviculture, technologie, etc.*).

*Toutes les communications relatives à la rédaction des* Annales (*manuscrits, mémoires, livres*) *doivent être adressées* franco *à M.* **L. Grandeau,** *rédacteur en chef des* Annales, *à Nancy.*

# ANNALES

DE LA

# SCIENCE AGRONOMIQUE

## FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

ORGANE

DES STATIONS AGRONOMIQUES ET DES LABORATOIRES AGRICOLES

PUBLIÉES

**Sous les auspices du Ministère de l'Agriculture**

PAR


LOUIS GRANDEAU

DIRECTEUR DE LA STATION AGRONOMIQUE DE L'EST
MEMBRE DU CONSEIL SUPÉRIEUR DE L'AGRICULTURE
VICE-PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE D'ENCOURAGEMENT A L'AGRICULTURE
DOYEN DE LA FACULTE DES SCIENCES DE NANCY
PROFESSEUR A L'ÉCOLE NATIONALE FORESTIERE


---

**DEUXIÈME ANNÉE — 1885**

**Tome I**

---


PARIS

BERGER-LEVRAULT ET C^ie, LIBRAIRES-ÉDITEURS

5, rue des Beaux-Arts,

*MÊME MAISON A NANCY*

1886

CHIMIE APPLIQUÉE A L'AGRICULTURE

# TRAVAUX ET EXPÉRIENCES

## DU Dr A. VŒLCKER

CHIMISTE-CONSEIL

DIRECTEUR DU LABORATOIRE DE LA SOCIÉTÉ ROYALE D'AGRICULTURE D'ANGLETERRE

**Par M. A. RONNA**

VICE-PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE D'ENCOURAGEMENT A L'AGRICULTURE

Comme MM. Lawes et Gilbert de Rothamsted, comme J. Johnston et Anderson, en Écosse, et Thomas Way, en Angleterre, le docteur A. Vœlcker, pendant ces quarante dernières années, a contribué par ses recherches de laboratoire, ses expériences de culture, ses mémoires, ses conseils et son enseignement, à vulgariser les saines pratiques de l'agriculture, à éclairer par l'analyse les nouvelles méthodes culturales et à élever le niveau de la science agronomique dans son pays. Sa mort, survenue le 23 décembre 1883, à l'âge peu avancé de 61 ans, a créé un grand vide dans la Société royale d'agriculture d'Angleterre, dont il était le chimiste-conseil depuis 1857 ; elle a causé une perte considérable à la science expérimentale en généra..

Il y a quelques années, notre ami commun, M. A. Ronna, entretenait A. Vœlcker de l'utilité qu'il y aurait pour les agronomes du continent à posséder un résumé de ses nombreux travaux disséminés dans les recueils scientifiques et principalement dans le *Journal de la Société royale d'agriculture d'Angleterre*. Il l'informait du désir qu'il avait de faire, pour son œuvre, ce qu'il avait déjà réalisé avec tant de talent pour celle des savants de Rothamsted.

Nous sommes heureux que M. A. Ronna ait donné suite à son projet ; cela nous permet de rendre un hommage posthume à A. Vœlker en publiant aujourd'hui dans les *Annales de la science agronomique* les premiers livres de ses *Travaux et expériences,* comprenant le sol et la plante.

Les livres suivants, que nous publierons successivement, comprennent les divisions suivantes :

Livre III. L'engrais. — Livre IV. Les expériences de culture. — Livre V. Les aliments et les expériences d'alimentation du bétail. — Livre VI. Les industries de la ferme. — Livre VII. Recherches chimiques et diverses.

Nous sommes assurés, à l'avance, de l'accueil que ne manqueront pas de faire à cette œuvre importante les lecteurs des *Annales*. Le Dr Vœlcker a embrassé dans cette longue série de recherches expérimentales presque toutes les questions qui touchent aux deux grands buts de l'agriculture, la production maxima du sol et l'alimentation du bétail.

Grâce au labeur de M. A. Ronna, toutes les données des travaux de Vœlcker sont présentées en mesures métriques, ce qui seul peut en rendre la lecture abordable aux lecteurs du continent. C'est un nouveau service que M. A. Ronna a rendu aux agronomes, qui lui doivent déjà d'avoir été mis au courant des travaux de Rothamsted par l'excellente analyse qu'il a donnée de l'œuvre de MM. Lawes et Gilbert.

L. Grandeau.

# LIVRE PREMIER. — LE SOL.

---

## I. — Des sols arables.

Les terres soumises à la culture offrent une grande diversité, autant sous le rapport de l'aspect, de la texture, de l'humidité et de la sécheresse, que des récoltes mêmes et de la fertilité. Les causes de cette diversité sont physiques ou chimiques[1].

### 1. — Caractères des sols.

*Caractères physiques.* — L'état mécanique du sol joue un rôle essentiel, car il permet à des modifications chimiques de la plus haute importance de s'opérer au bénéfice des récoltes. Souvent de bonnes terres fournissent des récoltes médiocres faute de façons suffisantes, et il est hors de doute que l'emploi d'instruments aratoires perfectionnés, surtout dans les terres fortes, est la source de sérieuses améliorations. On ne saurait toutefois admettre, malgré les résultats préconisés par Smith de Loïs Weedon, par Mechi, et d'autres agronomes, qu'il suffise de recourir à des labours profonds ou répétés, à des hersages ou à d'autres façons tendant à ameublir les sols, pour les améliorer d'une manière durable, à moins que l'on n'augmente en même temps la masse des aliments mis à la disposition des plantes.

L'épaisseur de la couche arable est un autre point digne d'attention, afin de pouvoir juger sa capacité productive et les moyens de la développer. Tel sol peut être régénéré par des labours profonds,

---

1. *The composition of fertile and barren soils. A lecture delivered at Newton.* Janvier 1857.

et tel autre absolument perdu. Il n'y a pas de règle générale qui exige que les terres soient également labourées à 15 ou 20 centimètres de profondeur; qu'elles soient toutes sous-solées ou soumises aux mêmes façons de culture.

Quelques conseils qu'il ait reçus, le cultivateur devra se faire, par lui-même, une opinion sur l'opportunité qu'il y aurait à modifier le système de façons appliquées à ces terres, plutôt que de suivre aveuglément des recommandations venues du dehors. Il en est de même de l'emploi des engrais commerciaux : s'il n'exerce pas son jugement personnel quant à leur application, il vaudrait mieux qu'il s'en tînt au fumier de ferme, l'engrais universel, qui renferme toutes les substances que la plante exige pour atteindre son plein développement. Or, le jugement personnel ne peut se fonder que sur les principes de la science. Si le cultivateur est ignorant de ces principes, il lui en coûtera moins de suivre la routine plus ou moins arriérée, que de se jeter tête baissée dans les améliorations de façons culturales ou de fumures, sans savoir si elles conviennent à ses terres ou à ses récoltes.

*Caractères chimiques.* — Un sol fertile contient tous les éléments qu'exigent les plantes cultivées pour atteindre leur parfait développement. Ces éléments doivent s'y trouver en abondance et dans un état tel que les plantes puissent promptement les assimiler. Telle est la définition donnée par le chimiste, mais elle doit être complétée par celle de la condition physique qu'offrent les bonnes terres arables.

*Sols argileux.* — Les caractères chimiques des bons sols peuvent s'établir d'après les analyses exactes de terres d'une fertilité reconnue. Les analyses 1, 2 et 3 du tableau, exécutées par le Dr Vœlcker, se réfèrent à trois sols argileux également remarquables par leur fertilité; l'un d'eux provenant de la vallée d'Evesham, dans le comté de Gloucester.

Un grand nombre d'éléments entrent dans la composition de ces sols; d'abord la silice, élément principal de tous les sols, qui ne se trouve pas toujours à l'état non combiné de sable, mais bien à l'état de combinaison avec l'alumine, dominant dans les terres argileuses, c'est-à-dire, de silicate d'alumine ou l'argile. En d'autres termes, le

sable et l'argile forment les deux éléments prédominants du sol arable. Puis vient la chaux ; elle n'est pas en très forte proportion dans les sols fertiles, mais en proportion suffisante pour subvenir aux besoins des récoltes. Toutes les terres, pour produire de bonnes récoltes, doivent renfermer de la chaux ; aussi la chaux ajoutée aux terres qui en sont dépouvues produit-elle des effets remarquables. La chaux est donc le troisième élément principal des sols. La matière organique provenant des résidus des récoltes antérieures, constitue le quatrième élément principal. On la trouve invariablement dans les bonnes terres, mais il y a lieu de remarquer que sa proportion ne détermine pas la fertilité. On trouve des terres très fertiles renfermant relativement peu de matière organique ou d'humus, et d'autres également fertiles qui en renferment beaucoup.

**TABLEAU I. — Analyses de sols par Vœlcker.**

| | SOLS ARGILEUX. | | | SOL calcaire. | SOL marneux. |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. |
| Eau | 5.539 | » | » | » | » |
| Matière organique et eau combinée | 3.621 | 3.38 | 6.11 | 6.339 | 10.50 |
| Oxyde de fer | 3.070 | 8.82 | 8.31 | 9.311 | 11.92 |
| Alumine | | 6.67 | | | |
| Carbonate de chaux | 0.740 | » | » | 54.566 | 19.92 |
| Chaux | » | 1.44 | 0.41 | » | » |
| Magnésie | 0.605 | 0.92 | 1.49 | Traces. | 0.25 |
| Potasse | 0.269 | 1.48 | 0.65 | 1.032 | 0.62 |
| Soude | 0.220 | 1.08 | » | | 0.09 |
| Acide phosphorique | 0.386 | 1.51 | 0.04 | Traces. | 0.38 |
| Acide sulfurique | Traces. | Traces. | Traces. | Traces. | 0.04 |
| Silice soluble | 1.450 | 72.83 | 80.69 | 28.947 | 13.45 |
| Silicates insolubles | 84.100 | | | | 42.07 |
| Acide carbonique | » | 2.87 | 2.27 | » | » |
| Perte | » | | | | 0.76 |
| | 100.000 | 100.00 | 100.00 | 100.195 | 100.00 |

*Sols calcaires.* — L'élément dominant des sols calcaires est la chaux. L'analyse n° *4* du tableau I fournit un exemple d'un tel sol

provenant de la ferme du Collège royal agricole de Cirencester. Aussi bien dans les terres crayeuses que dans celles de la grande oolithe, la proportion de carbonate de chaux atteint 70 et 80 p. 100. Ces terres à forte dose de calcaire ne sont pas en général très productives, mais elles conviennent très bien aux légumineuses et notamment au sainfoin. La nature physique de ces sols varie autant que leur composition et que leur valeur productive.

Les terres calcaires qui renferment beaucoup d'argile sont froides, d'un travail pénible, tandis que celles qui contiennent plus de sable sont plus légères et faciles à travailler.

*Sols marneux.* — Dans les sols marneux, on retrouve les caractères tantôt des sols argileux, tantôt des sols calcaires. Suivant qu'ils contiennent plus ou moins de chaux ou d'argile, ils sont plus ou moins tenaces, mais se rangent dans la catégorie des bonnes terres, productives de grosses récoltes de légumineuses, de pois, de trèfle et, quand ils sont suffisamment divisés, de racines.

L'analyse n° 5 du tableau I se réfère à un sol marneux des environs de Cirencester.

Tous les sols marneux renferment entre 5 et 20 p. 100 de chaux ; quand ils tiennent beaucoup de sable, ils sont désignés sous le nom de marne sableuse ; et inversement, quand l'argile domine, de marne argileuse, qui sert à l'amélioration des terres légères sableuses.

*Sols sableux.* — Le Dr Vœlcker définit, d'après les analyses du Dr Sprengel, les sols sableux comme désagrégés, friables et poreux. La plupart de ces sols exigent une fumure constante pour produire de bonnes récoltes. Ce sont ceux qui conviennent le mieux à l'emploi des engrais liquides. D'une manière générale, on peut dire que tous les engrais solubles, appliqués par faibles quantités à la fois, et à doses répétées, fournissent d'excellentes récoltes, même sur les sables les plus pauvres.

La silice, qui forme le principal élément de cette espèce de sols, atteint jusqu'à 96 p. 100 ; mais alors elle les frappe de stérilité. Les sols sableux productifs renferment des quantités appréciables de matière organique, de chaux, de potasse, de soude, d'acide phosphorique et d'acide sulfurique.

*Terreaux et sols tourbeux.* — Les sols où abonde la matière orga-

nique peuvent être d'une extrême fertilité, témoin ceux provenant des terrains conquis sur la mer en Hollande et analysés par Mulder; ou bien, par excès de sable, sinon de matières organiques, ils peuvent être absolument pauvres ou stériles, comme l'indiquent les analyses du Dr Sprengel. Des terres contenant au delà de 80 p. 100 d'humus, représentent à proprement dire de la tourbe, dans laquelle on arrive parfois à rendre la culture profitable en chaulant. La chaux jouit en effet de la propriété de convertir l'humus acide en matières directement utilisables pour la végétation, c'est-à-dire de détruire les matières organiques; mais le plus souvent ces terres exigent une amélioration radicale, surtout lorsque la dose d'humus excède 80 p. 100.

Sous le bénéfice des observations qu'il appuie sur des analyses chimiques, A. Vœlcker considère que la classification des sols peut s'établir suivant la prédominance des éléments constitutifs, de la manière suivante :

1. — Sols sableux renfermant au delà de 80 p. 100 de sable siliceux.
2. — Sols calcaires — — de 20 — de chaux.
3. — Sols argileux — — de 50 — d'argile [1].
4. — Sols à terreau — — de 8 — d'humus ou de matière organique.
5. — Sols marneux renfermant de 5 à 20 p. 100 de chaux, et de 20 à 50 p. 100 d'argile par rapport au poids total du sol à l'état sec.
6. — Sols *loam* renfermant également de 20 à 50 p. 100 d'argile, mais avec moins de 5 p. 100 de chaux.

## 2. — Sols fertiles.

En démontrant que les matières minérales contenues dans les cendres du blé, de l'avoine, de l'orge, de l'herbe, des racines, ne sont pas accidentelles, mais bien indispensables, et que si les plantes ne les rencontrent pas dans le sol, elles ne peuvent pas être utilement cultivées, Liebig a formulé un axiome fondamental

1. Ce chiffre paraîtra excessif, mais il faut se rappeler qu'au moment où A. Vœlcker le publia, on ne connaissait pas la méthode que M. Schlœsing a donnée pour séparer l'argile proprement dite du sable très ténu confondu avec elle dans les analyses mécaniques faites par lévigation. La plus forte proportion d'argile qu'on rencontre dans les sols fertiles excède rarement 30 à 35 p. 100. (*Note de la Rédaction.*)

qui règle les conditions de fertilité des sols arables. Les terres d'une grande fertilité, les argiles par exemple, ne renferment pas seulement la plupart des substances que révèle la composition des plantes, mais elles en renferment plusieurs essentielles, en telle abondance, qu'elles ne peuvent être épuisées pratiquement.

Encore convient-il de savoir comment ces substances dans les sols riches sont le plus avantageusement mises à profit. Est-ce par des instruments de culture perfectionnés ? Est-ce par l'apport d'engrais, tels que l'ammoniaque et le nitrate de soude ? Dans le premier cas, on aère le sol et on facilite la décomposition chimique de la masse ; dans le second cas, on rend solubles et assimilables les substances que réclame le développement de la plante. Il ne s'agit point d'apporter des matières minérales qui sont exubérantes dans de pareils sols. La réponse ne saurait être fournie que par l'expérience, car le chimiste s'appuyant sur la théorie, ne peut résoudre des questions de gain ou de perte, en indiquant le meilleur procédé à suivre.

Dans les sols maigres et pauvres, comme les landes et les sables, où l'acide phosphorique se dose à peine, qui manquent de chaux, etc., et abondent en silice dont la plante ne peut pas vivre uniquement, il est facile de reconnaître *à priori* que l'apport d'engrais riches est indispensable. Le fumier de ferme, qui est l'engrais complet, car il renferme tous les éléments constitutifs des terres fertiles, convient évidemment mieux à de tels sols que la plupart des engrais fabriqués, renfermant seulement deux ou trois de ces éléments, il est vrai, très importants ; mais encore ces sols exigent-ils d'autres procédés de culture que les sols argileux.

Un autre point à considérer, c'est le pouvoir absorbant plus ou moins grand des sols. Les terres argileuses ou fertiles, par exemple, jouissent à un haut degré du pouvoir d'absorber l'ammoniaque, tandis que les terres sableuses ou pauvres, ne le possèdent aucunement. De plus, tous les sols que caractérise une grande fertilité, retiennent les substances fertilisantes beaucoup plus longtemps que les sols maigres. Il en résulte une pratique différente dans le système de culture et de fumure à employer.

Enfin, les récoltes que l'on se propose de produire n'ont pas les mêmes exigences. Ce qui convient au blé ne convient pas toujours aux

racines, et inversement, non pas en raison des différences de composition des cendres des plantes, mais bien de leur mode de croissance, du temps qu'elles ont à passer en terre avant d'atteindre leur pleine maturité. Le sol fertile ou non peut contenir un excès de nourriture en vue de telle ou telle plante, sans que cette nourriture y soit sous la forme qui convienne aux exigences spéciales de celle que l'on veut cultiver. Tel sol qui renferme assez d'acide phosphorique pour subvenir aux besoins de vingt récoltes de blé peut n'en avoir pas assez pour une récolte unique de turneps ; et pourtant l'analyse indique qu'une récolte de turneps représente moins d'acide phosphorique qu'une récolte de blé. C'est que le blé reste assez longtemps en terre pour se procurer ce qui lui faut de cet acide, tandis que le turneps qui y séjourne moitié moins de temps, bien qu'il exige moitié moins d'acide, ne pousse pas ses racines assez profondément pour se le procurer ; c'est la justification des bons résultats, pour la culture des turneps, de l'emploi des superphosphates ou des phosphates solubles de chaux comme engrais.

L'analyse des terres ne suffit donc pas au chimiste pour affirmer que tel sol est fertile pour telle ou telle récolte, ni pour aider le cultivateur dans la pratique culturale ou dans l'emploi des engrais naturels ou commerciaux, à moins que le cultivateur ne mette à sa disposition les résultats de son expérience, ou de celle de la contrée dans laquelle il exploite.

### 3. — Sols infertiles [1].

On a pu voir, d'après ce qui précède, que les causes qui affectent la fertilité des terres, dues à leur composition chimique ou à leur état physique, ou bien aux deux à la fois, sont nombreuses. Une terre argileuse, tenace, compacte, non drainée, à laquelle ferait défaut, par exemple, la potasse, l'acide phosphorique ou la chaux nécessaires au développement de la plante, est improductive, autant par sa composition que par sa nature.

C'est une singulière remarque à faire ; combien d'écrivains agri-

1. *On some causes of unproductiveness in soils.* Janvier 1865.

coles se bornent à constater le caractère de pauvreté ou de stérilité des terres, sans spécifier à quelles raisons on doit l'attribuer.

Les causes les plus fréquentes de l'improductivité, sinon de la stérilité des terres, se rapportent :

1° A la présence d'éléments nuisibles à la végétation ;

2° A l'absence d'un ou de plusieurs éléments essentiels ;

3° A l'excès d'un ou de plusieurs éléments utiles ;

4° A l'imperméabilité du sous-sol ;

5° A la nature physique du sol.

Quand un agriculteur les a reconnues, et le plus souvent l'analyse chimique peut lui venir en aide pour les reconnaître, il peut facilement apporter le remède nécessaire.

### a. — *Présence d'éléments nuisibles.*

Une terre de bonne qualité n'exerce aucune action acide sur le papier bleu de tournesol ; elle est au contraire légèrement alcaline, en ce sens qu'elle rend au papier rougi par un acide sa coloration bleue primitive.

L'acidité des terres peut dépendre : 1° de quantités plus ou moins fortes de pyrite et de sulfate de fer ; 2° d'un excès d'acides organiques ou humiques ; 3° de sels tels que les chlorures de sodium (sel marin), de potassium et les nitrates.

*Sels de fer.* — Le sulfate de fer en excès qui exerce une action nuisible sur les plantes, résulte de l'oxydation des pyrites au contact de l'air et de l'eau ; une proportion de un demi à 1 p. 100 de ce sulfate frappe le sol de stérilité. La présence du fer à l'état de protoxyde est un signe à peu près certain de pauvreté des sols ; mais le drainage, le sous-solage et les autres façons de culture qui activent la circulation de l'air dans le sol, peuvent modifier sensiblement cette condition. La teinte bleu grisâtre ou vert foncé qu'offrent certaines terres argileuses, tenaces, mal préparées, indique la présence du protoxyde de fer. Quand elle s'est changée en brun rouge, par suite de l'exposition à l'air, le protoxyde s'étant converti en peroxyde, on peut considérer que la terre s'est améliorée. Ce n'est pas que le protoxyde de fer soit en lui-même, comme le sulfate de fer, un poison pour la

plante ; mais il dénote l'absence dans le sol de l'oxygène atmosphérique si essentiel pour le développement et le maintien de la végétation.

Plusieurs analyses de A. Vœlcker (tableau II) démontrent la funeste influence d'un excès de sulfate de fer ; elles se rapportent : 1° à un

**TABLEAU II. — Analyses de sols improductifs par la présence d'éléments nuisibles.**

| | SOL du lac de Haarlem. 1. | SOL de la côte du Hampshire. 2. | SOL de Sandy (Bedford). 3. | SOL nitreux. 4. | SOL de Meare Bridgewater. 5. |
|---|---|---|---|---|---|
| | à 100° c. | | à 100° c. | | à 100° c. |
| Eau. . . . . . . . . . . | » | 5.45 | » | 10.86 | » |
| Matière organique et eau combinée . . . . . . . . . | 14.71[1] | 9.93 | 4.27 | 4.84[2] | 97.760[3] |
| Oxydes de fer et d'alumine. . | 9.27 | 7.18 | 3.84 | 11.28 | 0.536 |
| Sulfate de protoxyde de fer. . | 0.74 | 1.39 | 1.05 | » | » |
| Bisulfure de fer . . . . . . | 0.71 | 0.78 | 0.56 | » | » |
| Acide phosphorique. . . . . | 0.27 | » | 0.09 | 2.35[4] | 0.053 |
| Acide sulfurique . . . . . . | 1.08 | » | » | » | 0.051 |
| Sulfate de chaux. . . . . . | 1.72 | 0.34 | 0.85 | » | » |
| Carbonate de chaux. . . . . | » | » | » | 5.21 | 0.855 |
| Azotate de chaux. . . . . . | » | » | » | 2.32[5] | » |
| Magnésie. . . . . . . . . . | 0.73 | 0.51 | 0.96 | » | 0.144 |
| Potasse. . . . . . . . . . | 0.53 | 0.83 | 0.47 | » | 0.131 |
| Soude . . . . . . . . . . . | 0.32 | | | » | 0.065 |
| Chlorure de potassium. . . . | » | » | » | 2.31 | » |
| Chlorure de sodium. . . . . | 0.09 | 0.04 | » | 11.61 | » |
| Matière siliceuse insoluble . . | 69.83 | 73.55 | 87.91 | 49.22 | 0.405 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.000 |

1. Renfermant azote : 0.52 égal à ammoniaque : 0.63.
2. Renfermant azote : 0.21 égal à ammoniaque : 0.29.
3. Renfermant azote : 1.428.
4. Égal à phosphate de chaux : 5.08.
5. Égal à acide nitrique : 1,526.

sol du lac de Haarlem (Hollande), d'une composition minérale très appropriée à la culture, particulièrement riche en acide phosphorique et en matières organiques représentant plus d'un demi p. 100 d'am-

moniaque ; mais l'imprégnation de sulfate de fer le rendait à peu près stérile ; 2° à un sol de la côte du Hampshire, conquis sur la mer, qui se trouvait dans les mêmes conditions que le précédent, sans être aussi riche en matière organique ; 3° à un sol absolument stérile de Sandy, dans le comté de Bedford, de couleur presque noire, bien que renfermant peu de matières organiques ; mais dans lequel le sulfate de fer était à l'état d'extrême division.

Le sol du lac de Haarlem mérite une mention spéciale. Avant de passer aux mains du propriétaire, il avait été à peine entamé et les récoltes, bien que peu abondantes, pouvaient paraître suffisantes. Dans le but d'accroître la production, le propriétaire laboura plus profondément, mais la récolte de céréales avorta complètement. Une forte fumure de fumier aggrava la situation, non seulement pour les céréales, mais pour les racines qui pénètrent plus avant en terre. L'examen chimique conduisit à reconnaître que le sol en question offrait une réaction acide prononcée, due à la présence de la pyrite de fer. Tant que la terre n'avait pas été profondément labourée, la pyrite de la couche superficielle s'était à la longue, sous l'influence des eaux pluviales, réunie dans le sous-sol. Par le labour profond, le sulfure de fer, ramené à l'air, s'était oxydé et converti en sulfate de fer, en proportion telle que les autres éléments minéraux et les sels solubles, surtout sous l'influence du fumier de ferme qui en ajoutait, étaient neutralisés. Dans des cas pareils, le remède est fourni par l'apport au sol, de chaux, de marne ou de craie. La chaux décompose le sulfate de fer, et, se combinant avec l'acide sulfurique mis en liberté, forme du plâtre et de l'oxyde de fer qui se rencontrent dans les terres fertiles. L'analyse du sous-sol est par cela même aussi nécessaire que celle de la couche arable.

Les terres noires imprégnées de sulfate de fer donnent des émanations fétides dues à l'hydrogène sulfuré qui se dégage par l'action de l'acide carbonique de l'air sur la pyrite finement divisée. En été plus encore qu'en hiver, ce gaz si pernicieux pour la végétation, même à l'état d'extrême dilution, se dégage dans les terres noires pyriteuses.

On peut dire en généralisant que toutes les matières salines très solubles dans l'eau, exercent une influence néfaste sur les plantes,

quand elles sont en excès. La question est de savoir ce qu'on entend par excès. Le professeur Knop, de Leipzig, a constaté que de l'eau renfermant plus d'un millième de matière minérale soluble donnait à la plante une végétation languissante, et la dose étant plus considérable, l'arrêtait complètement. A. Vœlcker conclut lui-même de ses propres expériences qu'une terre contenant plus d'un dixième pour 100 de ces matières solubles, telles que sel marin, ou plus de 1 p. 100 de nitrate de chaux et de chlorure de potassium, ne peut maintenir la vie végétale dans de bonnes conditions.

L'analyse n° 4 du tableau II se rapporte à une terre qui renferme, outre une forte proportion de chlorure de sodium, deux sels encore plus solubles que lui, le chlorure de potassium et l'azotate de chaux; ce dernier sel, accompagné de phosphate de chaux provenant évidemment de l'oxydation des matières animales. Cette terre peut constituer un amendement, mais pas un sol cultivable.

L'analyse n° 5 se réfère à une espèce de sol très communément rencontré dans les districts à tourbe. Le sol analysé provient de Meare, près de Bridgewater; à l'état naturel, il renferme 88 p. 100 d'eau. La proportion de matières minérales et d'acide phosphorique est très faible, et l'excès de matières organiques est incompatible avec une bonne végétation. On amende ces sols par de la chaux et de la marne qui neutralisent les acides humiques et ajoutent des matières minérales essentielles.

b. — *Absence d'un ou de plusieurs éléments essentiels pour la végétation.*

Parmi les éléments essentiels que décèle l'analyse des cendres des plantes cultivées, et dont l'absence altère la productivité du sol, il faut noter l'acide phosphorique, la chaux, la potasse, ou plusieurs de ces éléments à la fois.

Beaucoup de sols pèchent par défaut d'acide phosphorique, ce qui justifie l'emploi des phosphates comme fertilisants. Les analyses nos 1, 6 et 7 (tableau III), d'un sol sableux et de deux sols argileux, montrent que ce défaut se rencontre dans des sols offrant un caractère diamétralement opposé, de sorte que l'examen physique des terres ne peut donner une idée exacte des conditions de fertilité.

La chaux est aussi un élément qui se rencontre souvent en trop faible proportion dans les terres arables, d'où la pratique adoptée, dans beaucoup de districts, de chauler et de marner, s'appliquant aussi bien à des sols sableux, argileux et de pâturage qu'à des sols tourbeux. Les analyses n$^{os}$ 2, 8, 11 et 12 (tableau III) indiquent le manque de chaux dans une série de ces terrains.

Les alcalis, surtout la potasse, expliquent beaucoup plus souvent qu'on ne le croit, par leur faible dosage, l'insuffisance de production de certains sols. La potasse occupe une trop large place dans les cendres des produits de la ferme pour qu'elle ne soit pas fournie par le sol ou par l'engrais. Les cendres des racines, par exemple, sont riches en potasse; or, les racines cultivées souvent sur des sols dépourvus d'alcalis, ne reçoivent pour fumure que du superphosphate de chaux, et comme le produit est exporté ou incomplètement consommé sur place, il s'ensuit que les sols s'épuisent graduellement en potasse.

On est porté à croire que les terres sableuses légères sont les seules qui pèchent par défaut de potasse. Bien que les terres argileuses soient, en effet, moins sujettes à en manquer, il y en a qui, sous ce rapport, sont plus dénuées que les sols sableux. Les analyses des sols argileux n$^{os}$ 9 et 10 le prouvent surabondamment.

Tableau

TABLEAU III. — Analyses de sols improductifs par défaut d'un ou de plusieurs éléments.

| | SOLS SABLONNEUX | | | | | SOLS ARGILEUX | | | | | SOL de pâturage (Somerset). | SOL de tourbe (Kenmoor). |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *a.* 1. | (Kent). 2. | à lupin (Oxon). 3. | léger. 4. | pauvre. 5. | *a.* 6. | *b.* 7. | Demerara. 8. | compact. 9. | à houblon (Kent). 10. | 11. | 12. |
| Eau | » | » | 0.96 | » | 4.78 | 10.06 | 12.37 | 7.03 | 4.01 | » | » | » |
| Matière organique et eau | 3.02 | 3.62 | 1.46[1] | 6.92 | 1.03 | 7.69 | 8.07 | 12.58 | 8.51 | 4.07[2] | 16.80 | 55.32 |
| Oxydes de fer et alumine | 4.34 | 7.50 | 1.84 | 6.43 | 1.72 | 13.36 | 14.45 | 11.10 | 11.24 | 5.39 | 16.08 | 13.08 |
| Acide phosphorique | 0 07 | 0.13 | 0.17 | 0.11 | 0.04 | 0.04 | 0.01 | 0.48 | 0.06 | 0.26 | » | 0.06 |
| Acide sulfurique | » | » | » | » | 0.12 | » | » | 0.11 | 0.19 | Traces. | » | 1.20 |
| Chaux | » | 0.43 | » | 0.65 | 0.19 | » | » | 0.13 | » | » | 0.75 | 0.97 |
| Sulfate de chaux | 0.10 | » | 0.04 | » | » | 0.17 | 0.14 | » | » | » | » | » |
| Carbonate de chaux | 0.17 | » | 0.23 | » | Traces. | 0.24 | » | » | » | 4.32 | » | » |
| Magnésie | 0.41 | 0.49 | 0.24 | 0.39 | 0.10 | 0.46 | 0.37 | 0.33 | 0.46 | 0.53 | 1.56 | 0.54 |
| Potasse et soude | 0.26 | 0.48 | 0.12 | 0.33 | 0.23 | 1.65 | 1.21 | 0.52 | 0.45 | 0.38 | 0.45 | 1.02 |
| Matières siliceuses insolubles | 91.63 | 87.35 | 95.01[3] | 85.17[4] | 91.79[5] | 66.33 | 63.38 | 67.72 | 75.08[6] | 85.25 | 64.36 | 27.81 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

L'analyse col. 3 est donnée par Vœlcker dans son *Mémoire sur la composition du lupin jaune*, décembre 1860.
L'analyse col. 10 a été empruntée au rapport annuel pour 1883, *Journ. Roy. agr. Soc.*, 1884.
1. Renfermant azote 0.075 = ammoniaque 0.091.
2. Renfermant azote 0.18 = ammoniaque 0.21.
3. Composées principalement de sable fin quartzeux.
4. — — de sable.
5. Renfermant 89.32 de silice et pas de chaux.
6. Composés principalement d'argile.

Le sol n° 10[1], cultivé en houblon, dans la partie orientale du comté de Kent, est à peu près dépourvu de potasse dont il n'y a que des traces à l'analyse ; cependant, quoiqu'il contienne de la chaux en abondance, plus que la proportion moyenne d'acide phosphorique, et suffisamment de matières azotées, le sol ayant été fortement amendé par de la chaux et fumé, à raison de 5000 kilogr. par hectare, de tontisses de laine, le houblon y dépérit par moisissure. Dans une pareille terre, l'apport de sels de potasse en mélange avec du superphosphate est tout naturellement indiqué.

On peut dire qu'en général les terres maigres manquent de plusieurs éléments à la fois, et que les sols sablonneux, surtout, réclament des fumures à base de chaux, d'acide phosphorique et d'alcalis. Les analyses 4 et 5 en fournissent la preuve. Tant que la potasse sera coûteuse comme engrais, le fumier de ferme bien préparé offre la seule ressource pour augmenter la production de pareilles terres, à moins de disposer d'eaux d'égout dont l'épandage à fortes doses assure des résultats excellents[2].

c. — *Excès de matière organique, de sable, de chaux, d'alcali et même d'argile.*

Les sols les plus fertiles, ceux, par exemple, qui sont fournis par les alluvions, peuvent être considérés comme des mélanges mécaniques d'argile, de chaux, de sable, de matière organique, renfermant une dose notable de potasse et de soude, mais dans lesquels aucun des éléments constituants ne prédomine. Chacun de ces éléments jouit de propriétés physiques et chimiques appropriées au développement des plantes, et leur mélange intime est une condition de fertilité. Si, au contraire, l'un d'eux domine au détriment des autres, le sol devient improductif ; c'est ce qui ressort de l'examen des analyses des diverses espèces de sols comparées avec un sol stérile par excès d'alcalis (tableau IV).

---

1. *Annual Report for* 1883 ; *Journ. of the Roy. agric. Soc. of England*, 2e série, vol. XX, 1884.

2. Aujourd'hui la potasse est à bon marché, grâce aux mines de Stassfurt, et le cultivateur a tout intérêt à l'employer à l'état de chlorure et de sulfate.

(*Note de la Rédaction.*)

Le sol stérile, provenant de Californie, dont l'analyse figure colonne 5[1] du tableau IV, offre cette particularité qu'il est aussi riche en acide phosphorique que la moyenne des bonnes terres arables, qu'il renferme en abondance du carbonate de chaux et, en fait, tous les éléments requis pour la culture, mais l'excès d'éléments salins solubles dont quelques-uns, à l'état dilué, feraient d'excellents fertilisants, le condamne à la stérilité. Ce sol tient en effet des matières minérales solubles en telle quantité qu'il a une réaction alcaline et abandonne à l'eau froide 1/2 p. 100 de carbonate de soude et de potasse, de chlorure de sodium et de nitrate de potasse.

**TABLEAU IV. — Analyses de sols improductifs par excès d'un ou de plusieurs éléments utiles.**

| | SOL calcaire. 1. | SOL sablonneux. 2. | SOL argileux. 3. | SOL tourbeux. 4. | SOL stérile de Californie. 5. |
|---|---|---|---|---|---|
| Eau | » | 2.65 | » | » | » |
| Matière organique et eau | » | 1.56 | 7.94 | 49.07 | 3.19[1] |
| Oxyde de fer / Alumine | 0.780 | 5.93 | 10.95 | 10.88 | 1.18 / 4.54 |
| Acide phosphorique | 0.212 | » | 0.10 | 0.06 | 0.19 |
| Acide sulfurique | 1.546 | » | 0.30 | 1.01 | Traces |
| Carbonate de chaux | 73.807 | 0.39 | 0.86 | 2.29 | 2.58 |
| Magnésie | 0.825 | » | 0.26 | 0.75 | 1.50 |
| Potasse / Soude | Traces. | 0.28 | 0.39 | 0.90 | 0.81 / 0.58 |
| Nitrate de potasse | » | » | » | » | 0.17[2] |
| Chlorure de sodium | » | » | » | » | 0.04[3] |
| Silice | 16.710 | 86.19 | » | » | » |
| Matière insoluble siliceuse | 6.090 | » | 79.20 | 35.01 | 81.92 |
| | 100.000 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00[4] |

1. Renfermant azote 0.09, ou ammoniaque 0.11.
2. — acide nitrique 0.09.
3. — chlore 0.02.
4. Matière minérale soluble dans l'eau 0.49.

1. *Annual Report for* 1882; *Journ. Roy. agric. soc. of England*, 2e série, vol. XIX, 1883.

d. — *Imperméabilité du sous-sol.*

Ou bien la couche arable, quoique d'excellente qualité, est trop rapprochée de la roche qui forme le sous-sol, ou bien elle repose sur une couche de grande épaisseur, absolument imperméable, telle que l'argile, et, dans les deux cas, les efforts de l'agriculteur demeurent à peu près impuissants. Le drainage est susceptible d'améliorer les terres reposant sur un sous-sol argileux compact, comme dans la formation liasique, mais il ne modifie pas leur état physique. Ces sols tenaces sont toujours plus ou moins endommagés par l'excès d'humidité et l'abaissement de température qui retarde la végétation et empêche la plante d'arriver à maturité.

e. — *Nature physique du sol.*

Comme exemple de l'influence funeste qu'exerce une mauvaise condition physique des sols, A. Vœlcker cite l'analyse d'une terre de Churchdown, près de Gloucester, qui renferme tous les éléments appropriés aux plantes, mais dont l'état physique est tel que les plantes ne peuvent pas en tirer parti. Cette analyse décèle la présence d'une forte dose de matières organiques; mais, en raison de son adhésion ou de sa ténacité, le sol est difficile à drainer et demeure imperméable à l'air. Après avoir fourni de grosses récoltes de foin pendant deux années, le sol est devenu improductif; ce qui indique que, sans lui donner de l'engrais, il y a lieu de le défoncer pour rétablir la circulation de l'air, et de continuer le défoncement par intervalles.

**Analyse d'un sol improductif par sa nature physique.**

| | SOL adhésif compact du comté de Gloucester. |
|---|---|
| Eau | 4.04 |
| Matière organique et eau combinée | 11.66 |
| Oxydes de fer et alumine | 16.67 |
| Acide phosphorique | » |
| Acide sulfurique | » |
| Chaux | » |
| Sulfate de chaux | » |

| | SOL adhésif compact du comté de Gloucester. |
|---|---|
| Carbonate de chaux | 10.03 |
| Magnésie | 1.38 |
| Potasse et soude | 1.01 |
| Matières siliceuses insolubles (principalement de l'argile) | 55.21 |
| | 100.00 |

L'application d'engrais dans les terres de cette nature se fait en pure perte, surtout si la saison est sèche. Le guano ou les sels ammoniacaux ne pourraient que nuire. La question de savoir s'il convient de les mettre en prairie ou de les soumettre à l'assolement des terres fortes est la seule qu'il y aurait lieu d'examiner. Il est hors de doute pour A. Vœlcker que le labourage à vapeur sur de telles argiles froides, adhésives, riches en matières minérales, ferait merveille. L'air et la gelée sont les meilleurs agents pour venir à bout de ces sols rebelles, qu'il faut se borner à briser et à abandonner pour quelque temps à l'action atmosphérique.

### 4. — Analyse des sols.

L'analyse chimique des sols a pu paraître pendant longtemps sans valeur pratique aux yeux du cultivateur ; et pourtant elle est d'une utilité incontestable pour celui qui, initié à la chimie, sait en interpréter les résultats. Un chimiste qui ignore les rudiments de la pratique agricole, ou un agriculteur étranger à la chimie, sont également incapables de tirer parti de la composition chimique des sols.

Il ne faut pas croire, d'ailleurs, que l'analyse des terres réponde à toutes les questions que soulève le problème complexe de la culture. Il n'y en a qu'un certain nombre, d'après A. Vœlcker, auquel une analyse bien faite offre une réponse nette et pratique ; ce sont les suivantes :

1. La stérilité est-elle ou non causée par la présence d'un élément nuisible, tel que le sulfate ou le sulfure de fer ?

2. La stérilité résulte-t-elle de la prédominance des matières organiques, de la chaux, du sable ou de l'argile ?

3. La stérilité provient-elle de l'absence ou de l'insuffisance de la chaux, de l'acide phosphorique, des alcalis, notamment de la potasse, ou de substances minérales formant les cendres des plantes ?

4. Les terres renferment-elles du sel marin, des nitrates ou d'autres sels solubles en proportion trop abondante pour une bonne culture ?

5. Les sols glaiseux analysés sont-ils fertiles ou stériles ?

6. Les glaises peuvent-elles être utilement brûlées et servir, à cet état, d'amendement ?

7. Les terres peuvent-elles ou non être améliorées par le chaulage ?

8. Est-il préférable d'amender à l'aide de la chaux, de la marne ou de l'argile ?

9. Y a-t-il lieu, pour rendre au sol sa fertilité, d'appliquer certains engrais, tels que le superphosphate de chaux ou les sels ammoniacaux, sans nuire au sol, ou bien de recourir au fumier de ferme ?

10. Quels sont les engrais commerciaux les mieux appropriés aux sols de composition différente ?

11. Les labours profonds ou le labourage à vapeur peuvent-ils servir à développer les ressources minérales d'un sol analysé ?

12. Les aliments dans le sol analysé se trouvent-ils à l'état disponible pour la végétation, ou à l'état inerte ?

En dehors de ces questions auxquelles A. Vœlcker dit qu'il eût lui-même hésité de répondre, il y a une vingtaine d'années, il y en a auxquelles la meilleure analyse ne permet pas de satisfaire. Ainsi, l'analyse ne dit pas :

1. Si la stérilité est due à un drainage défectueux du sol.

2. Dans quelle mesure la stérilité ou l'improductivité sont-elles dues à une mauvaise condition physique des terres ?

3. En quoi le climat, l'orientation ou l'altitude d'un sol affectent-ils sa productivité ?

4. Quelle action exerce une couche trop mince de sol arable, ou bien un sous-sol imperméable de trop grande épaisseur ?

5. Quelle est la capacité relative de production des différents sols ?

Il est digne de remarque que sur la valeur des analyses du sol, l'opinion de A. Vœlcker a sensiblement varié. Ainsi, après la leçon

professée à Newton, en janvier 1857, et qui vient d'être résumée, il s'exprimait comme il suit[1] :

« Je désirerais mettre mon auditoire en garde contre les résultats « que l'on doit attendre des analyses de sols ; ils ont été beaucoup « exagérés par des personnes incomplètement initiées à la question. « On se rappellera, en effet, que la présence de certaines substances « dans les plantes n'est pas seule à régler le mode de culture, et « qu'il y a d'autres données à prendre en considération. L'analyse « détaillée des sols n'a pas produit les effets favorables que l'on « avait cru devoir tout d'abord signaler ; et pourtant, lorsqu'elle « indique les éléments principaux constitutifs, tels que l'argile, la « matière organique, la chaux et le sable, elle peut, dans bien des « cas, permettre au chimiste et à l'agriculteur de donner de précieux « avis sur la culture pratique..... »

Plus tard, en 1865, dans son mémoire sur les causes de stérilité des sols[2], Vœlcker dit :

« Il fut un temps où je croyais, comme beaucoup d'autres jeunes « chimistes, que les analyses de sols feraient tout pour le cultiva- « teur ; mais après trois ou quatre années d'expériences suivies et de « travaux assidus, je me sentis disposé à partager l'opinion des pra- « ticiens qui ne leur accordaient aucune valeur ; aujourd'hui, après « dix-huit années de recherches continues en chimie agricole, ayant « acquis, je l'espère, une plus grande maturité de jugement, j'en « suis arrivé à croire qu'il n'y a guère de sujet d'un intérêt plus « immédiat pour la culture, que la chimie du sol. Plus les investi- « gations sur la composition des terres seront longtemps poursui- « vies par des hommes compétents, et plus, j'en suis sûr, leur utilité « pratique sera démontrée. »

### 5. — Terres laxatives du Somerset.

Comme exemple d'étude des terres insalubres, le Dr Vœlcker a publié un mémoire[3] dont le résumé trouve sa place naturellement

1. *The composition of fertile and barren soils. Four lectures on agricultural chemistry.* London, 1857, in-8°, p. 59.

2. *Some causes of unproductiveness in soils,* janvier 1865.

3. *On the Scouringlands of central Somerset,* janvier 1862.

après l'examen des conditions de fertilité et de stérilité des sols arables.

C'est à la demande du conseil de la Société d'agriculture de Bath et de l'Ouest de l'Angleterre, que Vœlcker entreprit la recherche des causes auxquelles on doit attribuer l'action laxative sur le bétail, et notamment sur les vaches laitières, de certains herbages situés dans le comté de Somerset, en pleine formation liasique, et aussi dans le comté de Gloucester, aux environs de Cirencester, dans la formation oolithique. Cette recherche a conduit à l'examen analytique des sols que recouvrent les pâturages en question, et qui, généralement tenaces, compacts, de couleur foncée, reposent sur l'argile bleue ou jaune du lias, de même que sur les argiles de l'oolithe inférieure (*forest marble*), d'Oxford, et de la grande oolithe.

Les faits d'observation recueillis par A. Vœlcker dans ses visites aux terres laxatives des Polden Hills, et dans le mémoire de Clarke[1] sur les sols du Somerset central, sont les suivants :

1. Ces sols dominent dans la formation liasique ; ils sont presque toujours fortement colorés, et reposent invariablement sur un sous-sol argileux imperméable ; mais il y en a qui n'appartiennent pas aux argiles du lias, et, d'ailleurs, les argiles du lias n'offrent pas toutes cette particularité.

2. A certaines époques de l'année, le bétail subit les effets de la purgation, aussi bien sur des pâturages drainés que non drainés. Dans plusieurs cas, le drainage a été un remède.

3. Certaines eaux, dont l'analyse n'a pas été faite, exercent, dans les districts où dominent les terres aigres, une action médicinale marquée sur le bétail qui s'en abreuve. Le bétail préfère l'eau de pluie ou l'eau douce et noire des tourbières aux eaux dures des sources du lias.

4. On prétend qu'il se trouve dans la flore des prés aigres des plantes particulières possédant des vertus purgatives. L'herbe de ces prés ne ressemble point à celle des prairies pauvres et maigres ; elle est plutôt luxuriante, et le fourrage constitue peut-être un aliment insalubre pour le bétail. Les engrais semblent augmenter

---

1. *Journal of the Bath and west of England Society,* vol. III, p. 52.

le mal dans la mesure où ils développent la végétation. Pendant les mois les plus chauds de l'année, les herbages des terres hautes sont les plus laxatifs ; à partir des premières gelées de novembre, ils perdent plus ou moins complètement leur propriété, de telle sorte que, dans les mois froids et humides, on ne s'aperçoit plus guère de leur action.

Pour expliquer ces faits empiriques, classés d'après la nature géologique des sols, le drainage, la composition des eaux et la nature des herbages, A. Vœlcker a procédé par voie d'analyse.

*Analyse des sols.* — Le tableau V reproduit la composition chimique de quatre sols, comparée à celle d'une terre tourbeuse non purgative.

**TABLEAU V. — Analyses de terres laxatives et tourbeuse.**

| | FERME DE M. RUGG à Cossington. | | DOMAINE de Sir Al. Hood à Shepton Mallet. | ARGILE du lias (sous-sol de Cossington). | SOL tourbeux de Meare. |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. |
| Eau | 4.73 | 7.12 | 4.51 | 3.05 | » |
| Matière organique et eau combinée | 16.57 | 14.76 | 14.40 | 5.11 | 97.760[1] |
| Oxydes de fer et alumine | 14.26 | 15.87 | 14.45 | 6.98 | 0.536 |
| Carbonate de chaux | 5.25 | 2.53 | 14.80 | 40.93 | 0.855 |
| Sulfate de chaux | » | » | 0.26 | » | » |
| Carbonate de magnésie | 3.67 | 2.08 | » | | » |
| Magnésie | » | » | 0.96 | 2.96 (magnésie, potasse et soude) | 0.144 |
| Potasse | 1.04 (potasse et soude) | 2.60 (potasse et soude) | 0.93 (potasse et soude) | | 0.131 |
| Soude | | | | | 0.065 |
| Acide phosphorique | » | » | » | » | 0.053 |
| Acide sulfurique | » | » | » | » | 0.051 |
| Silice insoluble | 54.48 | 55.04 | 49.66 | 40.97 | 0.405 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.000 |

1. Renfermant azote : 1.428.

Les sols 1 et 2, provenant d'un même champ de la ferme de M. Rugg (paroisse de Cossington), dans le comté de Somerset, ne

révèlent rien à l'analyse qui ne soit conforme à la composition de bonnes terres arables[1]. Le sol n° 3, prélevé sur le domaine de Sir Alexandre Hood, à Shepton Mallet, était notoirement insalubre pour le bétail. De couleur foncée, due en partie au protoxyde de fer et en partie à un excès de matières organiques, ce sol, bien que non nuisible en lui-même, dénote une condition mécanique peu favorable à la bonne croissance des plantes. Le sous-sol n° 4 provient de l'argile très tenace du lias de Cossington. Sauf une forte proportion de carbonate de chaux, l'analyse n'indique rien de spécial. Enfin, le n° 5, recueilli dans une tourbière de Meare dont l'herbage n'est point laxatif, indique, en même temps qu'une énorme proportion de matière organique, une faible quantité de matières minérales, ce qui est le cas pour tous les terrains tourbeux ; mais rien ne caractérise sa propriété non purgative par rapport aux autres sols analysés, dont la composition se rapproche de celle d'une foule de terres parfaitement saines des environs de Cirencester.

On ne saurait donc inférer des analyses que les terres du lias renferment des matières nuisibles, bien que l'on puisse attribuer à leur état physique les résultats particuliers soumis à l'examen.

*Influence du drainage.* — S'il y a des cas où un bon drainage a pu porter remède aux terres de prairies laxatives, il y en a d'autres où le drainage a aggravé les inconvénients signalés. Il est avéré que dans la formation liasique, des champs attenant aux herbages purgatifs sont absolument salubres et qu'aucune différence n'existe entre eux sous le rapport du drainage, des eaux ou des herbes, mais si l'on pouvait mettre à nu les sous-sols, on reconnaîtrait sans peine que l'herbage laxatif provient d'un sol reposant sur une couche imperméable et compacte, située à une faible profondeur, tandis que l'herbage salubre est superposé à un sous-sol bien plus poreux, sinon situé à une plus grande profondeur. Il s'ensuit que tous deux étant également bien drainés, les herbes peuvent avoir une composition identique, sans que la qualité respective des sols soit pour cela modifiée. C'est une erreur de croire que le drainage agit comme un talisman pour convertir un sol infertile en un

1. Sauf peut-être l'absence d'acide phosphorique. A. RONNA.

sol fertile; il n'agit pas de la même manière sur toutes les terres, car il y a des terres que le drainage améliore à peine. Là où le sous-sol imperméable est très rapproché de la couche arable, à 5 ou 8 centimètres par exemple, le drainage reste sans effet; mais, s'il est à 45 ou 50 centimètres de profondeur, son efficacité, par la dérivation des eaux superficielles, est manifeste.

Il n'y a pas d'exemple de terres purgatives reposant sur un sous-sol poreux, tandis qu'il y en a beaucoup où le sous-sol argileux compact affleure presque à la surface, et où le drainage en conséquence est impuissant à remédier à l'état de la couche arable.

*Influence des eaux.* — D'après des faits positifs allégués dans le mémoire précité de Clarke, et attestant les propriétés purgatives de certains cours d'eau provenant du lias, Vœlcker a analysé deux échantillons d'eaux signalées par M. Poole; l'une, recueillie à Dunball, dans une tranchée du chemin de fer de Bristol à Exeter, et l'autre puisée à la source de Ford Farm, qui s'écoule à travers les prés de Sedgmoor. L'analyse a donné les résultats suivants (tableau VI) :

**TABLEAU VI. — Analyses des eaux du lias.**

| COMPOSITION DU RÉSIDU PAR LITRE SÉCHÉ A 150° C. | EAU de la tranchée de Dunball. 1. | EAU de source de Ford Farm. 2. |
|---|---|---|
| | Grammes. | Grammes. |
| Matière organique | 0.014 | 0.008 |
| Sulfate de chaux | 1.494 | 1.567 |
| Carbonate de chaux | 0.441 | 0.378 |
| Sulfate de magnésie (sulfate d'Epsom) | 0.522 | 0.368 |
| Sulfate de soude (sel de Glauber) | 0.084 | 0.088 |
| Sulfate de potasse | 0.063 | |
| Chlorure de sodium (sel marin) | 0.263 | 0.095 |
| TOTAL du résidu par litre | 2.881 | 2.504 |

L'eau n° 1 de la tranchée de Dunball renferme une quantité considérable de matière minérale dans laquelle figurent, en proportion importante, les sels d'Epsom, de Glauber et d'autres substances

apéritives. C'est de plus une eau très dure, renfermant huit fois plus de résidu solide que les eaux potables de dureté moyenne. Le bétail, exposé à boire dans les mois secs et chauds une pareille eau, absorbe une masse de matières salines dont l'action sur l'appareil digestif cause inévitablement la diarrhée.

L'eau n° 2 de la source de Ford Farm offre une analogie frappante avec l'eau n° 1, bien qu'elle ne soit pas aussi riche en matières salines, et son absorption par le bétail doit être suivie des mêmes effets.

Ainsi, l'analyse confirme que certaines eaux de la formation liasique ont des propriétés laxatives, et que l'argile bleue du lias est la cause première du mal dans les localités où le bétail s'abreuve des eaux qui y prennent leur source.

La forte proportion de sulfates que contiennent les eaux de l'argile liasique explique l'odeur particulièrement désagréable d'hydrogène sulfuré qui s'en dégage, par le contact des sulfates et des matières organiques dans le sol dépourvu d'une circulation d'air suffisante.

Si les eaux dures des sources du lias sont beaucoup plus froides en été que celles des étangs, des marais, etc., on ne saurait attribuer à leur température ce qui est le fait de leur composition.

L'eau des tourbières, toujours douce, renfermerait, affirme-t-on, un principe astringent, à l'instar du tannin, qui en ferait un remède contre les désordres de la diarrhée, mais le tannin qui se forme dans les matières végétales fraîches est un composé trop sujet à facile décomposition pour exister dans la tourbe. Des expériences directes qu'il a faites sur la composition des tourbes, Vœlcker déduit qu'elles ne renferment ni tannin, ni principes astringents analogues, mais bien certains composés d'acide ulmique et d'acide humique qui colorent les eaux stagnantes des tourbières.

*Influence des herbages.* — Suivant les théories botaniques en cours, la propriété des terres du Somerset serait due à une ou plusieurs espèces de plantes médicinales qui abondent dans les pâturages à effet purgatif, à savoir : le *Linum catharticum* (lin cathartique), l'*Aira cespitosa* (couche gazonnante), le *Rumex acetosa* (oseille), le *Leontodon taraxacum* (lion-dent) ou le *Colchicum autumnale* (safran des prés). Dans les visites faites par Vœlcker, rien

ne lui a indiqué la prédominance de ces plantes dans les prés des Polden Hills, pas plus que dans ceux des environs de Cirencester. La plupart, du reste, se rencontrent dans les pâturages où les animaux paissent sans éprouver de diarrhée continue.

Reste alors l'explication que les herbes des prés en question offrent une alimentation insuffisante et par conséquent laxative. Mais est-elle insuffisante parce que le sol pèche sous le rapport de matières organiques et minérales? Il y a lieu de répondre négativement. Est-elle insuffisante parce que le sol est privé de certaines substances essentielles? L'engrais, dans ce cas, permettrait de remédier au mal ; au contraire, il l'aggrave.

**TABLEAU VII. — Analyses de foins laxatifs et normal.**

| | FOIN laxatif de Rugg Farm à Cossington. 1. | FOIN NORMAL de prés tourbeux à Meare. 2. | | FOIN LAXATIF récolté à Meare. 3. | | FOIN d'un sol tourbeux recouvert de sol à herbes laxatives à Meare. 4. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *a.* | *b.* | *a.* | *b.* | |
| Cendres p. 100 de foin séché à 100° C . . . . . . . . . . | 8.94 | 7.11 | 7.14 | 10.24 | 10.38 | 8.76 |
| Azote. . . . . . . . . . . . . | 1.707 | 1.414 | | 1.782 | | 2.354 |
| Correspondant à matières azotées. | 10.668 | 8.837 | | 11.137 | | 14.712 |
| *Analyse des cendres p.* 100. | | | | | | |
| Chaux. . . . . . . . . . . . . | » | 12.05 | | 12.31 | | » |
| Magnésie. . . . . . . . . . . | » | 3.27 | | 2.71 | | » |
| Oxyde de fer. . . . . . . . . | » | 0.33 | | 0.89 | | » |
| Potasse . . . . . . . . . . . | » | 21.36 | | 17.47 | | » |
| Chlorure de potassium . . . . . | » | 8.03 | | 26.01 | | » |
| Chlorure de sodium . . . . . . . | » | 9.08 | | 1.70 | | » |
| Acide phosphorique . . . . . . | » | 4.61 | | 6.42 | | » |
| Acide sulfurique. . . . . . . . | » | 4.36 | | 3.76 | | » |
| Silice. . . . . . . . . . . . . | » | 37.34 | | 27.22 | | » |
| Acide carbonique et perte. . . . | » | » | | 1.51 | | » |
| | | 100.43 | | 100.00 | | |

L'herbe des prés tourbeux est des plus pauvres et ne purge pas

le bétail, tandis que l'herbe des prés où le bétail est purgé est le plus souvent luxuriante, et rien à l'œil ne la distingue de l'herbe des meilleurs pâturages.

Vœlcker n'en a pas moins voulu rechercher, à l'aide de l'analyse, les différences chimiques entre le foin frais provenant de prairies salubres et de prairies à effet laxatif.

Il convient de noter que le foin de ces dernières, quand il est frais, a les mêmes effets que l'herbe sur pied. Quand il est récolté tardivement, il perd ces propriétés ou bien elles sont moins accusées.

Les résultats des analyses sont consignés dans le tableau VII ci-dessus.

Il ressort du tableau VII que le foin laxatif renferme plus de matières minérales que le foin normal de la même localité. Pour 100 kilogrammes de foin laxatif de Meare, il y a 1 kilogramme de matières minérales en plus que dans le foin normal récolté sur les prés tourbeux du même endroit. La proportion pour 100 de matières minérales n'est pas seulement plus forte, mais la composition des cendres diffère essentiellement sous le rapport de la silice et de la potasse, comme du chlore. Enfin, la teneur en matières azotées du foin à effets laxatifs est plus élevée que celle du foin normal. Si la composition du fourrage frais au lieu du foin, avait pu être déterminée, elle aurait révélé, quant à l'analyse organique, des différences encore plus marquées.

Ainsi, se référant aux résultats qu'il a déjà constatés sur les différences en azote qu'accusent les turneps, le trèfle, le raygrass, suivant leur état plus ou moins avancé de maturité, Vœlcker n'hésite pas à conclure qu'un plus haut titre en azote, du foin à effet laxatif, correspond à un état de maturité et à une condition de nutrition moins complètes qui justifient pleinement, neuf fois sur dix, les plaintes contre les herbages en question. Il ajoute qu'il a maintes fois constaté les propriétés laxatives de trèfles et d'herbes luxuriantes, venues rapidement et renfermant à hautes doses de l'azote et des cendres, surtout dans les prés arrosés.

Le fait que l'emploi d'engrais sur ces prairies accroît le mal, s'explique en raison de la végétation luxuriante de l'herbe et du retard apporté à sa maturité, avant l'époque de la fenaison. Comme il y a

abondance de matières assimilables dans le sol liasique, le développement herbacé, aux mois secs de l'été, progresse trop rapidement, de telle sorte que si l'herbe peut rester sur pied jusqu'aux premières gelées de novembre, la maturité ayant eu le temps de s'effectuer, l'inconvénient disparaît ou est notablement mitigé.

Les conclusions de ce travail sont les suivantes :

1. Les terres argileuses du lias ne renferment rien de nuisible à la végétation ;

2. Elles contiennent en abondance les matières assimilables propres à la plante ;

3. Les eaux de la formation liasique sont très dures ; beaucoup d'entre elles jouissent de propriétés purgatives pour le bétail ;

4. Dans quelques cas exceptionnels, les terres sur lesquelles les prés ont une action purgative sont mal drainées ;

5. Dans la plupart des cas, le mal est dû à la maturité incomplète de l'herbe consommée par le bétail, sur le pré ou à l'état de foin ;

6. Ce défaut de maturité est plus remarquable pendant les mois chauds et secs, quand l'herbe croît très rapidement ;

7. Il est attribuable principalement au caractère du sous-sol ;

8. Rien n'indique que des herbes d'espèces particulières vient la cause du mal.

En regard de ces conclusions, les remèdes se formulent naturellement ainsi qu'il suit :

1. Dériver les eaux dures du lias et abreuver le bétail d'eau douce ;

2. Construire pour cela des réservoirs à eau pluviale ;

3. Recourir dans quelques cas exceptionnels à un meilleur drainage ;

4. Éloigner le bétail autant que faire se peut des prairies à effet laxatif, pendant les mois de l'année où l'herbage est le plus luxuriant ;

5. Retarder la fenaison pour que l'herbe atteigne, s'il est possible, sa maturité ;

6. Au cas où aucun de ces moyens n'aura réussi, surtout si l'herbe persiste à ne point mûrir, ce qui arrive le plus souvent et cause le mal, ne point craindre de défoncer les prairies pour les convertir en terres arables.

L'agronome éminent, M. Portman, fort de l'expérience acquise sur les terres laxatives de Pylle, se range à cette dernière conclusion comme étant la seule pratique et recommandable. Le trèfle venu sur ces prairies défoncées, le chaume de trèfle et les racines que consomment les moutons, n'ont en effet aucune propriété purgative.

## II. — Pouvoir absorbant des sols arables.

Outre les observations publiées par Thompson dans le *Journal de la Société royale d'agriculture d'Angleterre*[1], sur les propriétés absorbantes des terres arables, le savant professeur Way, prédécesseur de Vœlcker, en qualité de chimiste-conseil de la Société royale, avait élucidé ce sujet par une série de recherches qui ont pris place dans les annales de la science. Par ses travaux, Way a démontré que les terres arables, non seulement absorbent et retiennent l'ammoniaque gazeuse, mais qu'elles séparent cette base, de même que la potasse et les autres substances fertilisantes, de leurs combinaisons solubles. Ses essais ont été faits surtout sur des sols simples, et on a pu arguer avec quelque raison que dans le cas de mélanges complexes de substances solubles, tels que ceux fournis par les engrais liquides ou les purins, il pouvait s'opérer, dans les terres arables, des modifications telles qu'il y ait perte d'éléments de fertilité, principalement si les engrais sont appliqués longtemps avant que la récolte soit ensemencée. En d'autres termes, il a été objecté que parce que le sol absorbe l'ammoniaque d'une dissolution de sulfate ammoniacal, ce n'est pas un motif pour qu'il l'absorbe, quand les sels ammoniacaux sont mêlés à une demi-douzaine d'autres substances.

Les essais de Vœlcker, dont le résumé suit, ont porté sur l'absorption par les différentes terres, de l'ammoniaque en dissolution; du chlorhydrate et du sulfate d'ammoniaque ; des purins de fumier consommé et de fumier frais; des engrais liquides; des phosphates solubles; de la potasse; du carbonate et du sulfate de potasse; du chlorure de potassium; du nitrate de potasse; de la soude; du chlorure

1. *Journ. of the Roy. agr. Soc.*, vol. XII, p. 68, 1re série.

de sodium; du sulfate et du nitrate de soude, et constituent un ensemble des plus importants pour la détermination du rôle du sol et de l'engrais par rapport à la plante.

### 1. — Absorption de l'ammoniaque [1].

Les expériences de Vœlcker sur le pouvoir absorbant pour l'ammoniaque, des sols d'une composition déterminée, ont trait à cinq types de terres différentes par leurs caractères physiques et chimiques, à savoir : 1° une argile calcaire ; 2° un loam fertile, renfermant un peu de chaux, dont le mélange a été fait en parties égales avec le sous-sol argileux sur lequel il reposait ; 3° le sol et le sous-sol d'un champ argileux tenace, renfermant à peine de sable ; 4° un sol sableux stérile renfermant beaucoup de matière organique et à peine de chaux ; 5° un sol de pâturage, ou terreau, contenant de la matière organique en abondance et une bonne moyenne de sable et d'argile.

Les analyses mécaniques et chimiques de ces sols et sous-sols sont rapportées dans le tableau VIII.

1[re] *série*. — La solution ammoniacale qui a servi aux premières expériences titrait 0,332 d'ammoniaque caustique pour 1000 de liquide. Après des agitations fréquentes avec le sol expérimenté, et trois jours de repos, le liquide, clair, décanté, avait perdu les doses suivantes d'ammoniaque correspondant aux quantités absorbées par les divers sols, à savoir :

| | Pour 1000 parties de sol. |
|---|---|
| 1. — Sol argileux calcaire | 0.882 |
| 2. — Loam fertile (sol et sous-sol mélangés en parties égales) | 0.804 |
| 3. — Sol argileux compact (surface et sous-sol mélangés en parties égales) | 0.754 |
| 4. — Sol sableux stérile | 0.868 |
| 5. — Sol en pâturage | 0.576 |

Sans entrer dans le détail de ces expériences pour chacune desquelles le dosage a été contrôlé, notamment eu égard à l'ammoniaque que l'acide humique pouvait neutraliser, il y a lieu de re-

1. *On the chemical properties of soils*, juin 1860.

**TABLEAU VIII.** — Composition des sols essayés pour absorption de l'ammoniaque.

| | SOL argileux calcaire. 1. | SOL LOAM FERTILE. 2. | | SOL ARGILEUX COMPACT. 3. | | SOL sableux stérile. 4. | SOL de prairie. 5. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Surface. | Sous-sol. | Surface. | Sous-sol. | | |
| *Analyse mécanique.* | | | | | | | |
| Eau | 1.51 | » | » | 3.91 | 9.46 | » | 2.42 |
| Matière organique et eau combinée | 11.08 | 4.38 | 2.59 | 4.80 | 4.87 | 5.36 | 11.70 |
| Chaux, magnésie, etc. | » | 1.37 | 0.47 | 2.19 | 1.12 | 0.25 | 1.54 |
| Carbonate de chaux | 10.82 | » | » | » | » | » | » |
| Argile | 52.06 | 18.09 | 41.79 | 78.13 | 75.29 | 4.57 | 48.39 |
| Sable | 24.53 | 76.16 | 55.15 | 10.97 | 9.26 | 89.82 | 35.95 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| *Analyse chimique.* | | | | | | | |
| Eau | 1.51 | » | » | 3.91 | 9.16 | » | 2.420 |
| Matière organique | 11.08 (avec eau combinée) | 4.38[3] | 2.59[4] | 4.80 | 4.87 | » | 11.700 |
| Eau combinée | | | | | | | » |
| Oxydes de fer | 14.25 (avec alumine) | 3.15 | 7.16 | 7.85 (avec alumine) | 17.38 (avec alumine) | 5.36 | 11.860 (avec alumine) |
| Alumine | | 2.15 | 5.39 | | | 5.70 | |
| Chaux | » | 0.77 | 0.26 | » | » | » | » |
| Carbonate de chaux | 10.82 | » | » | 2.08 | 1.02 | 0.25 | 1.240 |
| Sulfate de chaux | 0.71 | » | » | 0.15 | 0.13 | » | 0.306 |
| Magnésie | 0.51 | 0.13 | 1.22 | .... | 0.92 | 0.49 (magnésie, potasse et soude) | » |
| Potasse | 0.32 | 0.49 | 0.88 | 0.32 | 0.45 (avec soude) | | 0.910 |
| Soude | 0.05 | 0.13 | 0.28 | .... | | | 0.112 |
| Acide phosphorique | 0.10 | 0.12 | 0.19 | 0.04 | 0.06 | Traces. | 0.080 |
| Chlore | » | Traces. | Traces. | » | » | » | » |
| Acide sulfurique | » | 0.06 | 0.02 | » | » | 0.08 | » |
| Acide carbonique | » | 0.31 | 1.79 | » | » | » | » |
| Silicates insolubles | 60.65[1] | 88.31[2] | 80.24 | 80.85[1] | 65.71 | 87.11[2] | 67.530 |
| Silice soluble | » | » | » | » | » | 1.01 | 4.090 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.248 |

1. Principalement de l'argile.
2. — du sable.
3. Renfermant 0.182 azote = 0.220 ammoniaque.
4. — 0.09 azote = 0.11 —

marquer que le sol sableux stérile a absorbé à peu près autant d'ammoniaque que le sol calcaire et plus que le sol argileux com-

pact. Ainsi les sols argileux ne sont pas seuls à jouir de la propriété de retenir l'ammoniaque. Les sols sableux la possèdent également, ce que confirme la pratique avantageuse des engrais, tels que le nitrate de soude, le sulfate d'ammoniaque et les autres matières solubles appliquées en couverture avant la saison des fortes pluies. Si ces engrais étaient promptement lavés dans les terres sableuses, cette pratique serait un non-sens. Il est vrai que les terres argileuses, en général, ont à un plus haut degré le pouvoir de retenir les matières fertilisantes, mais il n'y a pas lieu pour cela de craindre que le sulfate d'ammoniaque ou le guano, répandus sur un sol sableux léger, soient sans action sous l'influence des pluies.

On remarquera de même que le sol en pâturage où abonde la matière organique, a absorbé le moins d'ammoniaque. La raison en est-elle dans la présence de la matière organique ou dans d'autres circonstances particulières de ce sol? D'autres essais seraient nécessaires pour trancher la question. Toujours est-il que sur les terres en pâturage d'ancienne date, les engrais ammoniacaux produisent peu d'effet, tandis qu'ils en ont un remarquable sur la croissance de l'herbe. Dans ces sols de pâturage ancien, il y a toujours excès de matière organique et il se pourrait qu'elle empêchât l'absorption de l'ammoniaque.

2e *série*. — Le degré de concentration de la dissolution d'ammoniaque pouvant modifier les résultats, Vœlcker a repris les expériences sur les mêmes sols déjà traités, avec un liquide plus concentré, c'est-à-dire contenant à peu près le double d'ammoniaque, soit 0.673 pour 1,000 de liquide.

Les résultats constatés diffèrent absolument de ceux de la précédente série, en ce sens que l'absorption est à peu près identique pour quatre des sols mis en expérience et très peu inférieure pour le cinquième, no 3. Les doses totales absorbées sont les suivantes, après les deux essais :

| | Pour 1,000 parties de sol. |
|---|---|
| 1. — Sol argileux calcaire | 1.5193 |
| 2. — Loam fertile | 1.5363 |
| 3. — Sol argileux compact | 1.1240 |
| 4. — Sol sableux stérile | 1.5220 |
| 5. — Sol en pâturage | 1.5217 |

Le sol en pâturage a absorbé beaucoup plus d'ammoniaque dans cette deuxième expérience que dans la première ; ce qui l'a rangé au niveau des autres. Tandis que dans le premier essai, une partie de la matière organique avait passé dans la solution décantée en la colorant en jaune foncé, dans le second essai, la solution était à peu près incolore, ce qui indiquerait que les acides organiques du sol, en se combinant avec l'ammoniaque de la dissolution faible du premier essai, avaient donné naissance à des combinaisons solubles, avant que les composés insolubles eussent pu se former dans le sol ; de telle sorte que les acides organiques ayant été enlevés dans la première expérience, le sol a développé sa propriété absorbante dans la seconde.

3e *série*. — Bien que ces deux séries d'essais démontrent que, quelle que soit leur nature, les sols absorbent plus d'ammoniaque dans une dissolution forte que dans une dissolution faible, mais qu'ils ne l'absorbent pas complètement, une troisième série d'expériences a été suivie sur un même sol avec quatre dissolutions ammoniacales de différents titrages.

Le sol choisi renfermant beaucoup d'argile et de carbonate de chaux, appartenait aux argiles calcaires, moyennement compactes et absorbantes ; en voici la composition :

| | |
|---|---|
| Eau | 4.72 |
| Matière organique et eau de combinaison | 11.03 |
| Oxydes de fer | 9.98 |
| Alumine | 6.06 |
| Carbonate de chaux | 12.10 |
| Sulfate de chaux | 0.75 |
| Alcalis et magnésie (par perte) | 1.43 |
| Silice soluble | 17.93 |
| Matières insolubles (argile) | 36.00 |
| | 100.00 |

Les quatre dissolutions d'ammoniaque dans l'eau distillée titraient :

| | Pour 1000. |
|---|---|
| N° 1 | 0.634 |
| N° 2 | 0.304 |
| N° 3 | 0.176 |
| N° 4 | 0.088 |

100 grammes de sol furent traités par 4 litres environ de chaque dissolution, fréquemment agités ; puis le liquide décanté après quatre jours de repos, a été dosé.

Suivant le degré de concentration des différentes dissolutions, 1,000 parties de sol ont absorbé :

| | | |
|---|---|---|
| De la solution | n° 1 | 1.32 |
| — | n° 2 | 0.64 |
| — | n° 3 | 0.26 |
| — | n° 4 | 0.10 |

Ainsi, la quantité absolue d'ammoniaque que le sol absorbe est d'autant plus grande que la dissolution est plus forte ; mais les dissolutions faibles sont relativement plus épuisées que les autres. Tandis que dans les deux premiers cas, moitié environ de l'ammoniaque est retenue par le sol, dans le troisième il n'y a qu'un tiers, et dans le quatrième, un quart environ de retenu.

*4e série.* — Les expériences ont été poursuivies dans le but de reconnaître si le même sol, après avoir absorbé autant d'ammoniaque que possible au contact d'une dissolution faible, pouvait en absorber davantage en contact avec une dissolution plus forte. Pour cela, le sol, après traitement par la solution n° 2 (dans la précédente série), a été soumis à l'action de la solution n° 1 ; celui traité par la solution n° 3 à l'action de la solution n° 2 ; enfin, celui traité par la solution n° 4 à l'action de la solution n° 3. Les résultats ont été les suivants :

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1000 parties du sol | n° 5, | ancien n° 2, | ont absorbé | en total | 1.687 | d'ammoniaque. |
| — | n° 6 | — n° 3 | — | — | 0.737 | — |
| — . | n° 7 | — n° 4 | — | — | 0.374 | — |

D'où il semblerait résulter que non seulement le degré de la dissolution influe sur la quantité d'ammoniaque retenue par le sol, mais encore que la quantité de liquide traversant le sol affecte la proportion d'ammoniaque que le sol est capable d'absorber.

Il résulterait également de ces essais qu'un poids donné de sol doit retenir plus d'ammoniaque au contact d'un grand volume de liqueur ammoniacale que d'un petit volume de cette même liqueur. Mais il faut des expériences suivies pour le démontrer. On ne saurait en effet estimer exactement la perte d'ammoniaque que subis-

sent les engrais ammoniacaux au contact du sol, si on ne connaît pas intimement les conditions dans lesquelles cette remarquable propriété des terres se manifeste.

5e *série*. — Quel que soit le pouvoir absorbant des sols pour l'ammoniaque, cet élément de fertilité est-il assez complètement fixé ou d'une manière assez durable pour pouvoir être utilisé entièrement par la plante? Les eaux de drainage au printemps renferment invariablement, on le sait, de l'ammoniaque entraînée par les pluies. Il y a donc lieu de rechercher expérimentalement quel est le pouvoir des sols pour retenir l'ammoniaque.

Pour cela, Vœlcker a soumis 100 grammes du même sol traité dans la 3e série d'expériences et, ayant absorbé 4.66 d'ammoniaque au contact d'une dissolution ammoniacale concentrée, à sept lévigations successives avec 4 litres d'eau distillée par opération, qui ont enlevé :

| | | |
|---|---|---|
| 1re lévigation | 0.236 | 2.651 d'ammoniaque. |
| 2e — | 0.642 | |
| 3e — | 0.610 | |
| 4e — | 0.622 | |
| 5e — | 0.120 | |
| 6e — | 0.193 | |
| 7e — | 0.228 | |

Ainsi, quoique le poids de sol soumis à l'expérience ait été traité par 28 fois son poids d'eau, seulement la moitié de l'ammoniaque préalablement fixée a pu être enlevée par lavage méthodique. Un tel lavage n'a pas lieu dans la nature par l'action des pluies. Il semblerait donc, d'une part, que la propriété qu'ont les terres d'absorber l'ammoniaque est plus prononcée que celle dont elles jouissent de rendre à l'eau l'ammoniaque déjà fixée, et, d'autre part, que la lévigation des terres par les eaux pluviales n'a pas les effets que certains cultivateurs redoutent. Il y a d'autant moins lieu de craindre ces effets que chaque pluie rend soluble une partie de l'ammoniaque que le sol a primitivement absorbée. Or, une des fonctions du sol est précisément d'empêcher l'accumulation des matières solubles fertilisantes, en les rendant insolubles, ou, pour parler plus correctement, en diminuant la solubilité de celles qui autrement nuiraient

par leur excès au développement des plantes, de façon que le sol, non seulement empêche la déperdition de l'ammoniaque dans des engrais tels que le guano, le sulfate d'ammoniaque, etc., mais il emmagasine cette ammoniaque à un état d'insolubilité tel qu'elle puisse encore être directement utilisée par les plantes.

6e *série.* — La 6e série d'expériences s'est faite sur les mêmes sols que ceux choisis pour la 1re série (tableau VIII), avec une dissolution renfermant 1.14 de chlorhydrate d'ammoniaque, soit 0.36 d'ammoniaque pour 1,000 parties. Elle a donné les résultats suivants :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. — | 1000 parties | de sol calcaire | ont absorbé | 0.68 | d'ammoniaque. |
| 2. — | — | de loam fertile | — | 0.76 | — |
| 3. — | — | de sol argileux | — | 0.80 | — |
| 4 — | — | de sol sableux | — | 0.16 | — |
| 5. — | — | de sol en pâturage | — | 0.64 | — |

Les quantités absorbées varient considérablement, car le sable en a fixé une très faible ; mais l'ensemble des résultats prouverait qu'un sol peut absorber une forte dose d'ammoniaque libre, sans jouir de la propriété de séparer ni de fixer l'ammoniaque que renferme un sel ammoniacal.

7e *série.* — Les expériences de la série précédente, répétées avec une dissolution de sulfate d'ammoniaque titrant 0.228 d'ammoniaque pour 1,000, ont fourni les résultats ci-après :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. — | 1000 parties | de sol calcaire | ont absorbé | 0.608 | d'ammoniaque. |
| 2. — | — | de loam fertile | — | 0.640 | — |
| 3. — | — | de sol argileux | — | 0.576 | — |
| 4. — | — | de sol sableux | — | 0.256 | — |
| 5. — | — | de sol en pâturage | — | 0.448 | — |

Le sol sableux a également absorbé peu d'ammoniaque du sulfate, et l'ensemble représente un pouvoir d'absorption moindre pour l'ammoniaque à cet état de combinaison que pour l'ammoniaque libre.

8e *série.* — Vœlcker a renouvelé sur le sol calcaire ayant servi dans la 5e série, les mêmes essais de lévigation après l'absorption de l'ammoniaque contenue dans la dissolution de sulfate, pour constater s'il la retenait dans les mêmes conditions.

Le sol, dans une dissolution concentrée de sulfate ammoniacal,

ayant fixé jusqu'à 2.78 d'ammoniaque pour 1,000, conformément à ce qui avait eu lieu pour la dissolution d'ammoniaque caustique, il fut procédé à cinq lévigations successives qui enlevèrent :

| | | |
|---|---|---|
| 1re lévigation | 0.278 | d'ammoniaque. |
| 2e — | 0.633 | — |
| 3e — | 0.813 | — |
| 4e — | 0.416 | — |
| 5e — | 0.242 | — |
| | 2.382 | d'ammoniaque. |

Cette quantité, par rapport à celle de 4,872 absorbée effectivement, représente environ la moitié. Les résultats obtenus avec une dissolution d'ammoniaque libre dans la 5e série d'expériences, se trouvent ainsi confirmés.

9e *série.* — La même nature d'essais a été répétée sur le sol de la 3e série, après traitement par une dissolution concentrée de chlorhydrate d'ammoniaque renfermant 3.02 d'ammoniaque par 1,000.

Le sol ayant séparé 3.20 d'ammoniaque pour 1,000 abandonna par quatre lévigations les quantités suivantes :

| | | |
|---|---|---|
| 1re lévigation | 0.409 | d'ammoniaque. |
| 2e — | 0.646 | — |
| 3e — | 0.811 | — |
| 4e — | 0.499 | — |
| | 2.365 | d'ammoniaque. |

Cette quantité, par rapport à celle de 9.60, effectivement absorbée par le sol, représente encore environ la moitié, et confirme les résultats obtenus dans la 5e et la 8e série.

Ainsi, que le sol ait absorbé de l'ammoniaque à l'état libre ou à l'état de combinaison avec l'acide sulfurique ou chlorhydrique, l'eau en enlèvera de nouveau une certaine quantité, mais dans chacun des cas, la propriété qu'a le sol de retenir l'ammoniaque est beaucoup plus grande que celle dont il jouit de la rendre à l'eau.

Vœlcker tire des neufs séries d'expériences que nous avons résumées les conclusions suivantes :

1. Tous les sols soumis à l'expérience ont la propriété de retenir l'ammoniaque contenue dans une dissolution aqueuse ;

2. Le sol sableux a absorbé autant d'ammoniaque que le sol argileux ;

3. Les sols riches en matières organiques retiennent moins d'ammoniaque que ceux où ces matières ne sont pas en excès ;

4. Les différences dans le pouvoir absorbant des divers sols, sableux, calcaires et argileux, ne sont pas aussi grandes qu'on le croit généralement ;

5. Aucun sol n'a la propriété de fixer la totalité de l'ammoniaque avec laquelle il est mis en contact ;

6. Le sol absorbe plus d'ammoniaque au contact d'une dissolution concentrée ; mais les dissolutions plus faibles sont relativement plus épuisées que les dissolutions fortes ;

7. Les sols riches en matières organiques (acides humiques) commencent par absorber moins d'ammoniaque au contact de liqueurs faibles ; mais plus tard ils en absorbent davantage au contact de liqueurs fortes ;

8. Un sol qui a absorbé une quantité déterminée d'ammoniaque au contact d'une dissolution ammoniacale faible, en absorbe de nouvelles quantités au contact de dissolutions plus fortes ;

9. Tous les sols expérimentés absorbent non seulement l'ammoniaque à l'état libre, mais aussi celle existant dans les dissolutions de sels ammoniacaux ;

10. Avec les dissolutions de sulfate ou de chlorhydrate d'ammoniaque, la base seule est retenue par le sol, tandis que l'acide reste dans le liquide, associé à la chaux et aux autres matières minérales ;

11. Les dissolutions de sels ammoniacaux filtrées à travers le sol lui enlèvent plus de matières minérales que les dissolutions aqueuses d'ammoniaque caustique ;

12. Les sols absorbent plus d'ammoniaque au contact des dissolutions fortes de sels ammoniacaux qu'au contact des dissolutions faibles ;

13. Non seulement le degré de la dissolution, mais le volume, influent apparemment sur la dose d'ammoniaque que retient le sol ;

14. Dans aucun cas, l'ammoniaque absorbée par le sol n'est fixée d'une manière assez complète ou durable, pour que par lavage il ne soit possible de lui en enlever des quantités appréciables ;

15. Les quantités enlevées par lavages successifs sont faibles relativement à celles réellement retenues par le sol ;

16. *Les sols ont plus de force pour absorber l'ammoniaque que l'eau n'en a pour la dissoudre une fois fixée ;*

17. Les pluies d'orage ne sont pas à craindre dans l'utilisation pour les céréales des engrais ammoniacaux appliqués en couverture ;

18. Toutefois, dans les saisons très pluvieuses, ces terres ainsi fumées, même les argiles tenaces, perdent des quantités appréciables de l'ammoniaque contenue dans l'engrais.

### 2. — Absorption des purins de ferme.

Les expériences de Vœlcker sur les modifications qui se produisent dans les terres arables par l'application des purins de ferme [1], ont été exécutées avec un poids déterminé de sol, 1 partie en poids, et un grand excès de liquide, 2 parties en poids. Après mélange intime et un repos de 24 heures, le liquide décanté fut filtré et titré.

#### a. — *Essais avec du purin de fumier consommé.*

L'analyse mécanique et l'analyse chimique de la terre qui a servi à ces essais figurent sous le n° 1 dans le tableau IX. Le sol superficiel renfermant beaucoup de matière organique, assez d'argile, peu de sable et de la chaux à l'état de calcaire, a été mélangé en parties égales avec le sous-sol plus riche en argile et moins friable. Cette terre arable rentre dans la classe des marnes argileuses tenaces.

Dans un premier essai 129,5 grammes de sol superficiel et 129,5 grammes de sous-sol ont été traités par 259 grammes de purin, dont la composition chimique est donnée plus loin ; dans le second essai, le même poids de sol a été traité par 259 grammes de purin mélangé avec un poids égal d'eau distillée. Les deux essais ont eu pour résultat que plus des deux tiers de l'ammoniaque contenue dans le purin naturel ou dilué, à l'état de sels ammoniacaux, ont été absorbés par cette petite quantité de sol.

1. *On Farm yard manure*, juin 1857.

Si, malgré le volume de liquide filtré, le sol retient deux tiers de l'ammoniaque, il est permis de ne pas craindre la déperdition d'ammoniaque, vu la masse du sol arable, dans la pratique qui consiste à répandre le fumier en automne.

TABLEAU IX. — Composition des sols essayés pour absorption des purins.

| | Marne argileuse. 1. Surface. | Marne argileuse. 1. Sous-sol. | Sable léger. 2. |
|---|---|---|---|
| Eau | 5.36 | 3.66 | 3.45 |
| Matière organique et eau combinée | 25.86 | 8.79 | 13.94 |
| Chaux | 14.30 | 26.03 | » |
| Argile grossière | 34.84 | 56.76 | 2.82 |
| Argile fine | | | 6.30 |
| Argile en suspension | | | 6.67 |
| Sable grossier | 19.64 | 4.76 | 47.00 |
| Sable fin | | | 19.82 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Eau | 5.36 | 3.66 | 3.45 |
| Matière organique et eau combinée | 25.86 | 8.79 | 13.94 |
| Oxydes de fer | 13.88 | 10.13 | 5.87 |
| Alumine | | | 14.74 |
| Carbonate de chaux | 14.30 | 26.03 | 0.31 |
| Sulfate de chaux | 0.56 | » | 0.53 |
| Magnésie | » | » | 0.18 |
| Carbonate de magnésie | 1.04 | 1.67 | » |
| Potasse | 1.07 | | 0.25 |
| Soude | 0.18 | | » |
| Chlorure de sodium | » | » | 0.11 |
| Acide phosphorique | Traces. | | 0.06 |
| Chlore | | | |
| Silice soluble | » | » | 7.42 |
| Matières insolubles | 38.75 | 49.73 | 53.32 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.18 |

La composition chimique d'un litre de purin avant et après filtrage sur le sol n° 1 est donnée ci-après.

| COMPOSITION DU PURIN. — | Avant filtrage dans le sol. — Grammes. | Après filtrage dans le sol. — Grammes. |
|---|---|---|
| Ammoniaque à l'état de sels ammoniacaux. . . . . | 0.280 | 0.098 |
| Matières organiques. . . . . . . . . . . . . . | 1.911 | 1.689 |
| Silice . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 0.011 | 0.034 |
| Phosphates de chaux et de fer . . . . . . . . . | 0.113 | 0.022 |
| Carbonate de chaux. . . . . . . . . . . . . . . | 0.249 | 1.137 |
| Sulfate de chaux . . . . . . . . . . . . . . . | 0.031 | 0.113 |
| Carbonate de magnésie . . . . . . . . . . . . . | 0.183 | 0.088 |
| Chlorure de sodium. . . . . . . . . . . . . . . | 0.326 | 0.269 |
| — de potassium. . . . . . . . . . . . . | 0.503 | 0.377 |
| Carbonate de potasse . . . . . . . . . . . . . | 1.216 | 0.061 |
| | 4.823 | 3.888 |

On remarquera que le liquide a subi de notables changements après avoir été en contact avec le sol, notamment en ce qui concerne le carbonate de potasse ; ce qui démontre que le sol jouit non seulement de la propriété d'enlever l'ammoniaque des sels ammoniacaux en mélange avec d'autres substances fertilisantes, mais encore la potasse soluble des composés potassiques. De plus, une quantité considérable de chlorure de potassium est retenue ; de telle sorte que, par rapport à la soude pour laquelle le sol se montre à peu près indifférent, il absorbe avec avidité les sels solubles de potasse.

Cette propriété des sols a pour effet de convertir les sels de potasse que renferment les engrais en composés qui, tout en n'étant pas insolubles dans l'eau, sont pourtant assez difficilement solubles pour ne permettre à la plante d'en assimiler qu'une quantité limitée, dans un temps donné ; de là, une dose à peu près constante de potasse que l'on rencontre dans les cendres des récoltes.

Pour la soude, au contraire, dont la présence dans les cendres des végétaux cultivés est très variable, surtout à l'état de chlorure de sodium, suivant les conditions locales des terres, il est évident, puisque les terres arables ne l'absorbent pas en quantité, que les plantes qui puisent par leurs spongioles radiculaires, sans vertu sélective, dans les dissolutions avec lesquelles elles sont en contact, n'assimilent une plus grande quantité de soude que dans les terrains plus riches en cet alcali ou amendées avec du sel marin.

Il y a lieu encore de remarquer dans les analyses ci-dessus, le pou-

voir absorbant du sol pour les phosphates, et inversement la quantité de carbonate de chaux qui a été dissoute et entraînée par le filtrage.

Les résultats constatés dans ces premiers essais doivent varier suivant les sols; ils n'en confirment pas moins les observations de Way quant à leur pouvoir absorbant pour l'ammoniaque, la potasse, la soude et la chaux.

Pour les compléter, il a été procédé à une lévigation du même sol avec de l'eau pure. La composition du résidu par litre d'eau après filtrage a été trouvée la suivante :

| | Grammes. |
|---|---|
| Matière organique avec un peu d'eau combinée | 0.684 |
| Carbonate de chaux | 0.383 |
| Sulfate de chaux | 0.082 |
| Phosphate de chaux et un peu d'oxyde de fer | 0.009 |
| Carbonate de magnésie | 0.007 |
| Chlorure de sodium | 0.018 |
| Potasse | 0.014 |
| Silice | 0.013 |
| | 1.210 |

Cette liqueur renfermait une forte proportion de matière organique lui donnant une coloration jaune et une odeur fétide.

L'eau pure peut donc rendre soluble une quantité notable de matières minérales qui se retrouvent dans les cendres des récoltes et sont nécessaires à leur croissance.

b. — *Essais avec du purin de fumier frais.*

Le sol traité par du purin de fumier frais était sableux, léger, rougeâtre, très poreux, renfermant beaucoup de matière organique, mais peu d'argile et encore moins de chaux, comme l'indiquent les analyses mécanique et chimique sous le n° 2 du tableau IX. On soumit 325 grammes de ce sol au même poids de purin frais mélangé avec son poids d'eau distillée, soit avec 650 grammes de liquide mixte.

L'analyse du liquide avant et après filtrage à travers le sol a donné les résultats suivants :

| | Avant filtrage dans le sol. — Grammes. | Après filtrage dans le sol. — Grammes. |
|---|---|---|
| Ammoniaque libre | 0.109 | 0.101 |
| Matières organiques | 5.112 | 4.303 |
| — inorganiques (cendres) | 4.463 | 3.504 |
| Matières solides par litre | 9.684 | 7.908 |

*Analyse des matières inorganiques.*

| | | |
|---|---|---|
| Silice | 0.068 | 0.214 |
| Phosphates de chaux et fer | 0.518 | 0.473 |
| Carbonate de chaux | 0.425 | 0.304 |
| Sulfate de chaux | 0.102 | Traces. |
| Carbonate de magnésie | 0.071 | 0.034 |
| — de potasse | 2.121 | 1.225 |
| Chlorure de potassium | 0.432 | 0.563 |
| — de sodium | 0.726 | 0.691 |
| | 4.463 | 3.504 |

Les matières organiques renfermaient :

| | | |
|---|---|---|
| Azote | 0.221 | 0.179 |
| Égal à ammoniaque | 0.269 | 0.218 |

La proportion d'ammoniaque libre, comme celle de l'ammoniaque des matières azotées, retenue par ce sol, est peu considérable. Il est clair que de tels sols possèdent, à un bien moindre degré que les sols compacts, la propriété d'absorber beaucoup d'éléments fertilisants. L'alumine, bien qu'en quantité notable, se trouve dans le sol soumis à l'expérience, à l'état libre ou si faiblement combiné avec la silice qu'elle peut facilement en être séparée par des acides faibles. Way avait d'ailleurs déjà constaté que le pouvoir absorbant des sols ne dépend pas autant de l'alumine à l'état libre que de ses combinaisons particulières. Il est plus que probable que les terres argileuses arables contiennent des silicates doubles auxquels Way attribue leurs différentes propriétés absorbantes, et qu'en déterminant seulement la proportion d'argile contenue, on n'arrive pas à déterminer les conditions de leur productivité agricole.

Dans cette seconde série d'essais, le changement le plus important apporté par le filtrage dans le sol, se rapporte à la potasse dont près

de la moitié a été absorbée, tandis que pour la soude, comme dans les essais précédents, la diminution est peu sensible.

En outre, comme le sol est dépourvu de chaux, une partie du carbonate de chaux et la totalité du sulfate de chaux ont été absorbées. Par ce motif, le résultat est contraire à celui constaté précédemment.

Dans l'état des connaissances que l'on possède sur les fonctions du sol, il n'y a guère lieu de tirer d'autres conclusions des analyses fournies par le filtrage des purins à travers les types de sols choisis pour ces essais.

### 3. — Absorption des engrais liquides [1].

Les expériences de Vœlcker sur les purins ont été continuées sur les engrais liquides mis en contact avec des sols de composition déterminée.

Une première série de quatre essais a été tentée avec le même engrais liquide, dont la composition est donnée dans le tableau XI, sous le nom d'engrais liquide I, appliqué à quatre sols dont l'analyse figure dans le tableau X, colonnes 1, 2, 3 et 4.

Le sol n° 1, calcaire argileux, provenant de la pièce n° 19 de la ferme du collège agricole de Cirencester, devient, par la pluie, très tenace et collant, et en temps sec se met en mottes intraitables. Par les façons d'automne, ses propriétés physiques se sont améliorées.

Le sol n° 2, provenant d'une prairie permanente, appartient à la catégorie des terreaux; assez tenace, pauvre en chaux et plus riche en sable que le sol précédent, il produit de bons herbages en assez grande abondance.

Le sol n° 3, dépourvu de chaux, contenant un excès de sable, est d'une infertilité constatée aux environs de Cirencester.

Le sol n° 4 est représenté par parties égales de la couche arable formée d'un loam friable et du sous-sol plus compact, c'est-à-dire renfermant plus de sable et moins d'argile; il représente un sol moyen comme pouvoir absorbant, et naturellement très fertile.

1. *Liquid Manure. On the changes which it undergoes in contact with soils of known composition,* juin 1859.

**TABLEAU X. — Composition des sols essayés pour absorption d'engrais liquide.**

| | SOL calcaire argileux. 1. | SOL en prairie permanente. 2. | SOL sableux infertile. 3. | LOAM ARGILEUX friable. 4. | | SOL ARGILEUX TENACE de Tiptree Hall. 5. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Surface. | Sous-sol argileux. | Surface. | Sous-sol. |
| *Analyse mécanique.* | | | | | | | |
| Eau. . . . . . . . . . | 1.51 | 2.42 | » | » | » | 3.91 | 9.46 |
| Matière organique . . . | 11.08 | 11.70 | 5.36 | 4.38[1] | 2.59[2] | 4.80 | 4.87 |
| Chaux. . . . . . . . . | » | 1.54 | 0.25 | 1.37 | 0.47 | 2.19 | 1.12 |
| Carbonate de chaux . . | 10.82 | » | » | » | » | » | » |
| Argile. . . . . . . . . | 52.06 | 48.39 | 4.57 | 18.09 | 41.79 | 78.13 | 75.29 |
| Sable . . . . . . . . . | 24.53 | 35.95 | 89.82 | 76.16 | 55.15 | 10.97 | 9.26 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| *Analyse chimique.* | | | | | | | |
| Eau. . . . . . . . . . | 1.51 | 2.420 | » | » | » | 3.91 | 9.46 |
| Matière organique . . . | 11.08 | 11.700 | 5.36 | 4.38 | 2.59 | 4.80 | 4.87 |
| Eau combinée. . . . . | | » | | | | | |
| Alumine. . . . . . . . | 14.25 | 11.860 | 5.70 | 2.15 | 5.39 | 7.85 | 17.38 |
| Oxydes de fer. . . . . | | | | 3.15 | 7.16 | | |
| Chaux. . . . . . . . . | » | » | » | 0.77 | 0.26 | » | » |
| Carbonate de chaux . . | 10.82 | 1.240 | 0.25 | » | » | 2.08 | 1.02 |
| Acide carbonique . . . | » | » | » | 0.31 | 1.79 | » | » |
| Sulfate de chaux. . . . | 0.71 | 0.306 | » | » | » | 0.15 | 0.13 |
| Acide sulfurique. . . . | » | » | 0.08 | 0.06 | 0.02 | » | » |
| Magnésie. . . . . . . | 0.51 | » | | 0.13 | 1.22 | . . . . | 0.92 |
| Potasse . . . . . . . . | 0.32 | 0.910 | 0.49 | 0.49 | 0.88 | 0.32 | 0.45 |
| Soude. . . . . . . . . | 0.05 | » | | 0.13 | 0.28 | . . . . | |
| Chlorure de sodium . . | » | 0.112 | » | » | » | » | » |
| Acide phosphorique . . | 0.10 | 0.080 | Traces. | 0.12 | 0.19 | 0.04 | 0.06 |
| Chlore. . . . . . . . . | » | » | » | Traces. | Traces. | » | » |
| Silice soluble. . . . . | » | 4.090 | 1.01 | » | » | » | » |
| Silicates insolubles. . . | 61.78 | 67.530 | 87.11 | 88.31 | 80.24 | 80.85 | 65.71 |
| | 101.13 | 100.248 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

1. Contenant azote 0.182 = ammoniaque 0.220.
2. — — 0,09 = — 0.11.

2,000 *grains* de chacun des sols (129$^{gr}$,5) ayant été agités d'une manière répétée avec 7,000 *grains* (453$^{gr}$,4) d'engrais liquide clarifié,

TABLEAU XI. — Composition des engrais liquides avant et après filtrage sur les sols.

| COMPOSITION EN GRAMMES PAR LITRE. | EXPÉRIENCES AVEC ENGRAIS I. | | | | | | | | | EXPÉRIENCES AVEC ENGRAIS II. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ENGRAIS liquide I avant filtrage. | APRÈS FILTRAGE sur sol no 1. | | APRÈS FILTRAGE sur sol no 2. | | APRÈS FILTRAGE sur sol no 3. | | APRÈS FILTRAGE sur sol no 4. | | ENGRAIS liquide II avant filtrage. | APRÈS FILTRAGE sur sol no 5. | |
| | | *a.* | Différences. | *b.* | Différences. | *c.* | Différences. | *d.* | Différences. | | *e.* | Différences. |
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| *Eau et composés ammoniacaux volatils* . . . . | 996.947 | 996.725 | — 0.022 | 996.301 | — 0.116 | 996.808 | + 0.608 | 996.502 | — 0.245 | 997.926 | 997.699 | — 0.227 |
| Contenant carbon. et humates d'ammoniaque. | (0.507 | (0.297) | (— 0.210 | (0.297) | — 0.210 | 0.473) | (— 0.031 | (0.368) | (— 0.139) | (0.047 | (0.022) | — 0.025 |
| *Matières organiques* . . . . . . . . . . . . . | 0.293 | 0.496 | + 0.203 | 0.443 | + 0.150 | 0.357 | + 0.064 | 0.506 | + 0.213 | 0.109 | 0.077 | — 0.032 |
| Contenant azote. . . . . . . . . . . . . . . | (0.021) | (0.026) | (+ 0.005 | (0.031) | (+ 0.010 | (0.020) | (— 0.001 | (0.013) | (— 0.008 | (0.007) | (0.003 | (— 0.004) |
| Égal à ammoniaque. . . . . . . . . . . . . | (0.026) | (0.032) | (+ 0.006) | (0.038) | + 0.012) | (0.025) | (— 0.001) | (0.014) | (— 0.012 | (0.008 | (0.003 | (— 0.005) |
| *Matières inorganiques* . . . . . . . . . . . . | 1.301 | 1.121 | — 0.180 | 1.597 | + 0.296 | 1.177 | — 0.124 | 1.332 | + 0.031 | 0 306 | 0.565 | + 0.259 |
| Contenant silice soluble . . . . . . . . . . | 0.033 | 0.010 | — 0.023 | 0.013 | + 0.010 | 0.072 | + 0.039 | 0.032 | — 0.001 | 0.024 | 0.023 | — 0.001 |
| — — insoluble . . . . . . . . . . | » | » | » | 0.014 | + 0.041 | 0.024 | + 0.024 | 0.062 | + 0.062 | 0.012 | 0.028 | + 0.016 |
| — oxyde de fer . . . . . . . . . . . | » | 0.036 | + 0.036 | » | » | 0.029 | + 0.029 | » | » | » | » | » |
| — chaux . . . . . . . . . . . . . . | 0.164 | 0.320 | + 0.155 | 0.359 | + 0.195 | 0.014 | — 0.050 | 0.235 | + 0.071 | 0.064 | 0.112 | + 0.018 |
| — magnésie. . . . . . . . . . . . . | 0.041 | 0.017 | — 0.024 | 0.041 | » | 0.010 | — 0.031 | 0.034 | — 0.007 | 0.025 | 0.042 | + 0.017 |
| — potasse. . . . . . . . . . . . . . | 0.241 | 0.018 | — 0.193 | 0.074 | — 0.167 | 0.171 | — 0.070 | 0.156 | — 0.085 | 0 018 | 0.055 | + 0.036 |
| — chlorure de potassium. . . . . . | 0.039 | » | — 0.039 | 0.069 | + 0.030 | » | — 0.039 | 0.076 | + 0.037 | 0.015 | » | — 0.015 |
| — soude. . . . . . . . . . . . . . . | » | » | » | » | » | 0.006 | + 0.006 | » | » | » | 0.007 | + 0.007 |
| — chlorure de sodium . . . . . . . | 0.575 | 0.475 | — 0.100 | 0.559 | — 0.016 | 0.561 | — 0.014 | 0.558 | — 0.017 | 0.078 | 0.130 | + 0.052 |
| — acide phosphorique. . . . . . . | 0.069 | 0.009 | — 0.060 | 0.025 | — 0.044 | 0.027 | — 0.042 | 0.021 | — 0.048 | 0.034 | 0.032 | — 0.002 |
| — — sulfurique. . . . . . . . . | 0.056 | 0.041 | — 0.015 | 0.039 | — 0.017 | 0.052 | — 0.001 | 0.074 | + 0.018 | 0.030 | 0.079 | + 0.049 |
| — — carbonique et perte . . . . | 0.083 | 0.165 | + 0.082 | 0.344 | + 0.261 | 0.112 | + 0.029 | 0.085 | + 0.002 | 0.006 | 0.057 | + 0.051 |
| TOTAUX. . . . . . . . . . | 998.311 | 998.342 | | 998.311 | | 998.342 | | 998.340 | | 998.341 | 998.311 | |

on laissa reposer le tout pendant 24 heures. Le liquide surnageant restant trouble après décantation, on le fit séjourner pendant huit jours avant de filtrer et d'analyser.

Une partie du liquide décanté a été évaporée pour y doser, par le procédé de la chaux sodée, l'ammoniaque fixe et l'azote. Sur une seconde partie du liquide sursaturé à l'aide de l'acide chlorhydrique, qui convertit le carbonate volatil, les humates et les ulmates d'ammoniaque en chlorhydrate, on a également dosé, dans le résidu d'évaporation, l'azote contenu. Enfin, sur une troisième partie évaporée jusqu'à siccité, pesée à cet état, puis incinérée, on a déterminé les éléments des cendres.

Sans aborder le détail, nous avons reproduit, sous forme de tableau, les résultats des analyses du liquide avant et après filtrage sur les sols choisis (tableau XI). A chaque analyse *a, b, c* et *d,* une colonne indique les différences en plus ou en moins pour chaque élément.

Les chiffres consignés dans le tableau XI représentent des grammes par litre, correspondant aux *grains* par *gallon imperial* obtenus par Vœlcker.

a. — *Essai sur le sol n° 1.*

On remarquera que l'engrais liquide a abandonné au sol n° 1 une quantité considérable d'ammoniaque, plus du double que le purin n'en avait abandonné dans les expériences décrites au chapitre précédent. Est-ce le maximum que le sol n° 1 puisse absorber ? ou bien en est-il absorbé plus ou moins suivant l'état de dilution de l'engrais liquide ? Toujours est-il que la force du liquide semble influer sur le degré d'absorption du sol. De nouvelles expériences seraient nécessaires pour décider si le pouvoir absorbant d'une terre pour l'ammoniaque est constant.

La matière organique a augmenté par le filtrage à travers le sol; l'engrais liquide en renfermant une faible quantité, il n'y a pas lieu de s'étonner qu'il s'en soit dissous dans un sol relativement riche.

La matière minérale, en revanche, a diminué à peu près dans la même proportion.

L'engrais liquide qui ne renfermait pas d'oxyde de fer, en traver-

sant le sol, en a dissous 0gr,036 par litre. La liqueur étant limpide, l'oxyde n'a pas pu provenir des matières en suspension. D'ailleurs, Vœlcker a toujours constaté que sur des terres riches en oxyde de fer et en substances organiques, l'engrais liquide dissout de l'oxyde de fer. Ne serait-ce pas l'explication d'insuccès obtenus sur certains sols par l'application des engrais liquides ?

La chaux a été rendue soluble par l'engrais liquide, et la proportion de bicarbonate a beaucoup augmenté dans le liquide après filtrage.

La potasse a été absorbée par le sol pour la plus grande partie, ainsi que la totalité du chlorure de potassium, ce qui équivaut à une absorption de 0,763 de potasse ou de 1,138 de carbonate par 1000 parties de sol.

Le chlorure de sodium a été retenu à un degré bien moindre. On retrouve dans le liquide filtré la plus grande partie du sel marin, et le sol n° 1 n'en renferme point.

Comme pour la potasse, le sol s'est montré avide pour l'acide phosphorique qu'il a retenu presque entièrement. Il n'y aurait pas lieu d'en conclure que c'est là une dose maximum, car ce sol, on le verra, peut en retenir bien davantage ; ni que les plantes puisent l'acide phosphorique à l'état de composé insoluble, car il en reste toujours assez à l'état soluble pour expliquer la présence de cet acide dans les cendres des plantes.

Suivant toutes probabilités, une des fonctions du sol consiste à convertir des composés facilement solubles d'acide phosphorique en combinaisons qui, tout en étant peu solubles dans l'eau, le sont assez pour subvenir aux besoins de la plante.

b. — *Essai sur le sol n° 2.*

L'absorption du sol n° 2 pour l'ammoniaque de l'engrais liquide a été à peu près la même que dans l'essai *a*.

La terre en prairie, riche en matière organique, a également abandonné de l'ammoniaque à l'engrais liquide après filtrage ; mais la matière minérale a diminué, ce qui est dû principalement au carbonate de chaux dont la proportion dans le liquide, après filtrage,

surpasse celle de l'essai *a*, bien que le sol n° 1 renfermât beaucoup plus de carbonate de chaux que le sol en prairie. Ainsi, un sol contenant moins de chaux peut abandonner plus de cet élément à un liquide chargé de matières organiques et inorganiques, qu'un sol trois ou quatre fois plus riche en carbonate de chaux.

La proportion de chlorure de sodium a à peine varié, tandis que la potasse a été absorbée par le sol, en comprenant celle du chlorure, à raison de 0,519 pour 1000.

Enfin, l'acide phosphorique a été retenu à peu près complètement, ce qui prouve que, même dans les sols dépourvus de chaux, les phosphates solubles sont rendus relativement insolubles.

c. — *Essai sur le sol n° 3.*

Le sol sableux infertile, soumis à l'essai, possède à un bien faible degré la propriété d'absorber l'ammoniaque ; il offre, sous ce rapport, un contraste frappant avec les sols précédemment expérimentés.

La proportion de matière organique a augmenté, mais sans causer de grande différence dans la dose d'azote.

L'oxyde de fer, sans doute préexistant à l'état de combinaison avec des substances organiques, a été dissous en quantité appréciable; de même, la silice soluble du sol se retrouve dans le liquide filtré.

Contrairement à ce qui a été observé dans les deux essais précédents, c'est le sol dépourvu de chaux qui a retenu le carbonate de chaux renfermé dans l'engrais liquide. La pratique, du reste, confirme ce fait, car il n'y a pas d'engrais qui profitent plus aux terres sableuses que la chaux et les composts calcaires.

De même que pour l'ammoniaque, le sol n° 3 a retenu peu d'acide phosphorique, et encore moins de sels de soude. Il y a lieu, toutefois, de remarquer qu'étant dépourvu de chaux, il n'en a pas moins absorbé de l'acide phosphorique fourni par des combinaisons solubles. L'insuccès des superphosphates comme engrais à turneps dans les terres sableuses pourrait ainsi s'expliquer par la facilité avec laquelle les phosphates solubles sont lavés.

d. — *Essai sur le sol n° 4.*

Les observations à présenter sur cet essai, où le sol constitue une moyenne par rapport aux nos 1 et 2, sont analogues à celles que les essais *a* et *b* ont suggérées.

e. — *Essai sur le sol n° 5.*

Un dernier essai a été répété avec un engrais liquide fourni par la ferme de Tiptree Hall qu'exploitait le célèbre agronome Mechi, sur le sol de cette même ferme, représentant une terre argileuse très compacte et tenace.

L'analyse de l'engrais de Tiptree Hall figure sous le n° 2 dans le tableau XI, en regard de celle de l'engrais après filtrage sur le sol n° 5 du même tableau. Une colonne spéciale indique les différences des éléments contenus dans les liquides.

On remarquera que l'engrais de Tiptree Hall est beaucoup plus dilué que celui ayant servi aux essais précédents, mais que le sol, très riche en argile, contient assez de chaux et très peu de sable. Un tel sol devrait jouir à un haut degré de la propriété absorbante pour l'ammoniaque, la potasse et l'acide phosphorique.

En ce qui concerne l'ammoniaque, l'absorption des sols précédemment traités par l'engrais liquide I, a été :

| | Pour 1000. |
|---|---|
| Sol n° 1, calcaire argileux | 0.738 |
| Sol n° 2, en prairie permanente | 0.737 |
| Sol n° 3, sableux infertile | 0.121 |
| Sol n° 4, loam fertile | 0.487 |

tandis que le sol n° 5, traité par l'engrais liquide II, a absorbé seulement 0,005 d'ammoniaque p. 1000. Malgré les conditions favorables présentées par le sol n° 5 pour l'absorption complète de l'ammoniaque, moitié à peine a été retenue par le sol, ce qui s'explique par ce fait que les composés formés dans les terres argileuses sont encore solubles dans l'eau, au contact des composés ammoniacaux solubles fournis par l'engrais.

Pour la potasse et le chlorure de potassium, loin que le sol en ait absorbé, la proportion de potasse a augmenté dans l'engrais, après son séjour au contact du sol. Il s'ensuivrait que la terre de Tiptree Hall, comme la plupart des terres argileuses, renfermait en abondance des silicates alcalins qui ont cédé au liquide une faible partie de leurs bases alcalines.

La proportion d'acide phosphorique n'a guère varié, c'est-à-dire que les composés d'acide phosphorique formés dans le sol sont si peu importants que l'eau de l'engrais a suffi pour les maintenir en dissolution.

## Conclusions.

Les conclusions à tirer de ces essais complètent celles auxquelles ont conduit les expériences sur les dissolutions ammoniacales et les purins de ferme.

Les modifications de l'engrais liquide au contact du sol sont plus grandes pour les terres argileuses et calcaires que pour les terres sableuses.

L'engrais liquide filtré sur les sols argileux, les loams et les sols calcaires, leur apporte une quantité notable d'ammoniaque, de potasse et d'acide phosphorique.

Les sols sableux soumis à l'engrais liquide lui enlèvent peu d'ammoniaque et de potasse. Sauf pour ces terrains, l'engrais liquide abandonne au sol la plus grande partie des matières fertilisantes nécessaires.

La force d'absorption comparative des différents sols pour l'ammoniaque, la potasse et l'acide phosphorique contenus dans l'engrais liquide, varie considérablement.

L'engrais liquide sur les sols sableux, riches en silice soluble, enlève de la silice soluble.

Les sols qui absorbent beaucoup d'ammoniaque, absorbent beaucoup de potasse et inversement.

Les sels de soude (sel marin) restent en totalité ou à peu près dans l'engrais liquide, de même que le chlore et généralement l'acide sulfurique, tandis que l'engrais enlève le plus souvent de la chaux

aux sols, sans qu'il y ait de rapport proportionnel avec la chaux qu'ils renferment. Les sols pauvres en chaux retiennent celle contenue dans l'engrais, tandis que les sols pourvus de chaux en abandonnent à l'engrais liquide. Dans certains cas, également, le sol rend de la potasse à l'engrais, au lieu d'en prendre.

Toutes les terres, de moyenne fertilité, ont le pouvoir de réduire la solubilité des substances fertilisantes les plus importantes, mais aucune de ces substances, dans les essais qui viennent d'être décrits, n'a été rendue complètement insoluble.

Le sol qui jouit de la propriété d'emmaganiser la nourriture des plantes, non seulement comme ammoniaque, potasse et acide phosphorique, mais aussi comme chaux, quand il en manque, ne semble pas offrir l'aliment minéral à la plante sous la forme de combinaisons complètement insolubles.

### 4. — Absorption des phosphates solubles[1].

Dans le but de s'assurer si l'inefficacité dans certains sols du superphosphate minéral appliqué à la culture des racines, est due à leur porosité et à leur légèreté qui permettent l'entraînement par les grosses pluies des phosphates solubles, ou bien à des modifications des composés phosphatés à l'intérieur de ces sols, des essais ont été institués sur six sols d'espèces différentes, à savoir :

*a.* — Loam rouge.
*b.* — Sol calcaire, où prédominait le carbonate de chaux à l'état de division extrême.
*c.* — Sous-sol argileux compact.
*d.* — Sol superficiel argileux compact, provenant, comme le précédent, de la ferme Mechi, à Tiptree Hall, et ayant déjà été expérimenté pour l'engrais liquide.
*e.* — Sol sableux léger, renfermant peu d'argile, de matière organique et de gravier calcaire ou de chaux ; mais beaucoup d'oxyde de fer hydraté et de l'alumine.
*f.* — Sol marno-argileux.

Sur les cinq premiers sols, on a employé du superphosphate ren-

1. *The absorption of phosphate of lime and phosphatic manures for root crops.* Janvier 1863.

**TABLEAU XII. — Composition des sols et résultats des essais pour absorption des phosphates solubles.**

| | LOAM rouge. *a.* | SOL calcaire. *b.* | SOUS-SOL argileux compact. *c.* | SOL superficiel argileux compact. *d.* | SOL sableux léger. *e.* | MARNE argileuse. *f.* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Composition des sols.* | | | | | | |
| Eau | 2.95 | 3.62 | 9.46 | 3.91 | 1.43 | 4.72 |
| Matière organique et eau combinée | 6.75 | 4.24 | 4.87 | 4.80 | 3.39 | 11.03 |
| Oxyde de fer / Alumine | 6.10 | 7.54 | 17.38 | 7.85 | 12.16 | 9.98 / 6.06 |
| Acide phosphorique | » | » | 0.06 | 0.04 | Traces. | » |
| Carbonate de chaux | 1.22 | 67.50 | 1.02 | 2.08 | 0.15 | 12.10 |
| Sulfate de chaux | » | » | 0.13 | 0.15 | » | 0.75 |
| Magnésie / Potasse et soude | 1.20 | 0.44 / 0.79 | 0.92 / 0.45 | 0.32 | 0.46 | 1.43 |
| Silice soluble | » | » | » | » | » | 17.93 |
| Matières siliceuses insolubl. | 82.22 | 15.88 | 65.71 | 80.85 | 82.41 | 36.00 |
| | 100.44 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| *Conditions des essais.* | | | | | | |
| Poids de sol traité | 340gr,00 | 680gr,00 | 340gr,00 | 324gr,00 | 324gr,00 | 1036gr,00 |
| — de superphosphate | 7 ,08 | 14 ,16 | 7 ,08 | 7 ,16 | 7 ,15 | 13 ,79 |
| — égal à phosphate de chaux soluble | 2 ,63 | 5 ,26 | 2 ,63 | 2 ,66 | 2 ,65 | 5 ,12 |
| Volume d'eau | 0lit,850 | 1lit,700 | 0lit,850 | 1lit,360 | 1lit,360 | 1lit,815 |
| *Résultats des essais.* | | | | | | |
| Poids de phosphate soluble absorbé par le sol après 24 heures | 1gr,573 | 4gr,715 | 1gr,250 | 1gr,305 | 1gr,389 | » |
| *Idem.* Après 8 jours | 2 ,039 | 5 ,202 | 1 ,792 | 1 ,615 | 1 ,549 | 5gr,006 |
| — Après 17 jours | » | » | » | 2 ,249 | 1 ,893 | » |
| — Après 26 jours | 2 ,476 | 5 ,260 | 1 ,931 | » | » | » |

fermant 37.20 p. 100 de phosphate rendu soluble par l'acide ; et, pour le sixième, un superphosphate contenant 23.84 p. 100 de phosphate soluble. Les deux superphosphates étaient exempts de matière organique et de sels ammoniacaux.

L'essai du premier sol a été opéré sur 340 grammes, intimement mélangés avec 7 grammes de superphosphate à 37.20 p. 100 de phosphate de chaux soluble, soit avec 2gr,63 de phosphate soluble, et agités dans un flacon bouché à l'émeri avec 0l,850 d'eau distillée. On a successivement dosé le phosphate dans la liqueur claire surnageante après 24 heures, après 8 jours et 26 jours de repos.

Les autres essais ont été opérés de la même manière en faisant varier le poids de sol et de superphosphate et le volume d'eau.

Les résultats figurent dans le tableau XII, au-dessous des analyses centésimales de chacun des sols expérimentés et des données de chaque essai.

*Essai* a. — Dans ce premier essai, l'absorption du phosphate soluble n'a pas eu lieu complètement après 26 jours. Il est donc possible que, dans les 24 heures suivant l'application de superphosphates riches en phosphates solubles, une grande quantité soit entraînée par la pluie, en pure perte pour la récolte de racines en terre; mais les fumures au superphosphate sont appliquées au sol dans de tout autres proportions; la masse du sol est si considérable qu'après la plus forte fumure en usage, l'analyse du sol ne révélerait pas une différence dans la dose contenue d'acide phosphorique. Pratiquement, l'absorption complète du phosphate soluble par le sol est assurée.

*Essai* b. — Le sol crayeux a absorbé le phosphate soluble bien plus rapidement et complètement que le loam contenant bien moins de chaux, de telle sorte que, même en présence d'un grand excès de carbonate de chaux extrêmement divisé, l'absorption non seulement n'est pas immédiate, mais imparfaite encore au bout de 24 heures.

*Essai* c. — Dans le sous-sol de Tiptree Hall, renfermant peu de carbonate de chaux, l'oxyde de fer et l'alumine à l'état d'hydrates s'associent facilement avec l'acide phosphorique pour former des composés insolubles dans l'eau. Le phosphate acide de chaux au contact de l'alumine et de l'oxyde de fer abandonne une partie de son acide et se convertit en phosphate de chaux basique ou insoluble. Les terres argileuses sont généralement riches en oxydes et théoriquement représentent un pouvoir élevé d'absorption pour le phosphate soluble, même si elles sont dépourvues de carbonate de chaux. L'essai *c* confirme cette induction.

*Essai* d. — Dans cet essai sur le sol formant la couche arable superposée au sous-sol précédent, l'absorption s'est faite incomplètement après 8 jours, et même après 17 jours, le liquide renfermait encore du phosphate en quantité appréciable.

*Essai* e. — Les sols sableux légers, sur lesquels le superphosphate est communément regardé comme inefficace, en raison de l'entraînement du phosphate soluble par les pluies, ne sont pas doués au même degré que les autres sols du pouvoir d'absorber les phosphates solubles.

*Essai* f. — Après 8 jours, le sol marno-argileux a absorbé la presque totalité du phosphate soluble mis en contact avec lui. De même que les terres crayeuses, les marnes ont, à un bien plus haut degré que les autres terres, le pouvoir absorbant pour les phosphates. C'est évidemment à la chaux qu'il faut l'attribuer. La transformation dans le sol du phosphate soluble en phosphate insoluble est absolument nécessaire pour assurer le développement des racines et des autres récoltes auxquelles on applique les superphosphates. Il ne faut pas oublier qu'aucune combinaison acide ne peut alimenter la plante sans lui nuire ; même les acides végétaux, humiques, ulmiques, etc., à l'état libre, frappent la végétation et, à moins qu'ils ne soient neutralisés par la chaux, la marne ou la terre, ils ne permettent la venue que d'herbages grossiers et non nutritifs. Dans les terrains tourbeux, toutes terres d'amendement, à l'exception de sables purs, apportent une amélioration sensible à ce point de vue, outre qu'elles contribuent mécaniquement à la consolidation du sol.

Les essais dont il est rendu compte démontrent péremptoirement que les sols les plus différents, argile ou sable, craie ou loam, rendent insoluble le phosphate acide soluble. Si quelques sols jouissent de cette propriété à un plus haut degré que d'autres, ou bien opèrent plus promptement que d'autres la transformation, on n'en peut pas moins affirmer que toutes les terres arables la possèdent. Au cas contraire, l'emploi du phosphate acide serait préjudiciable aux récoltes, ce qui serait en opposition absolue avec les faits de la pratique ; or, dans une eau renfermant tant soit peu d'acide libre, aucune plante ne peut prospérer au delà d'un temps limité. La proportion de phosphate acide employée dans les essais a été exagérée par rap-

port à celle du sol traité et à celle de la pratique, pour ne laisser aucun doute sur la conversion en composés neutres ou insolubles, dans la masse du sol, des 500 ou 400 kilogr. de superphosphate à l'hectare qui constituent la fumure usitée.

### 5. — Absorption de la potasse [1].

Les terres argileuses passent pour absorber la potasse avec plus ou moins d'avidité, suivant leur degré de ténacité, tandis que les terres sableuses sont regardées comme privées de cette propriété. L'expérience seule permet de vérifier ces appréciations.

Les essais de Vœlcker ont été exécutés en soumettant des sols de compositions déterminées à des liquides renfermant de la potasse caustique, du carbonate de potasse, du sulfate de potasse, du chlorure de potassium, ou du nitrate de potasse.

Les analyses des sols qui ont servi à ces essais sont consignées dans le tableau XIII ; elles se rapportent :

1. — A un sol calcaire où domine le carbonate de chaux, renfermant peu d'argile et de matière organique ; c'est une marne crayeuse ;

2 et 3. — A une argile (sol et sous-sol) extrêmement tenace et adhésive, dite d'Essex, contenant peu de chaux et d'argile ;

4. — A un loam léger, friable, fertile, coloré en rouge, ou terre à turneps ;

5. — A une terre de prairie, riche en matière organique, dépourvue de chaux, mais renfermant assez de potasse soluble ;

6. — A une marne contenant une forte dose de silice soluble, ainsi que de l'oxyde de fer et de l'alumine ;

7. — A un sol sableux ferrugineux, coloré en rouge, infertile, contenant à peine d'argile, des traces de chaux et beaucoup d'oxyde de fer ;

8 et 9. — A deux sols argilo-calcaires, assez profonds et perméables, différant entre eux par la quantité de carbonate de chaux, mais provenant des pièces nos 7 et 12 de la ferme du collège royal agricole de Cirencester.

*1re série. Potasse caustique.* — La solution de potasse employée dans les expériences de la première série a été préparée en dissol-

1. *Absorption of potash by soils of known composition.* Juillet 1864.

## TABLEAU XIII. — Composition des sols essayés pour absorption de la potasse.

| | SOL calcaire. | ARGILE TENACE. | | LOAM LÉGER. | TERRE de prairie. | SOL marneux. | SOL sableux. | SOLS ARGILO-CALCAIRES de Cirencester. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1. | Sous-sol. 2. | Sol superficiel. 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. |
| *Analyse mécanique.* | | | | | | | | | |
| Eau | » | 9.46 | 3.91 | » | » | » | » | 8.81 | 13.29 |
| Matière organique et eau combinée | » | 4.87 | 4.80 | » | » | » | » | 8.63 | 9.81 |
| Argile | » | 75.29 | 78.13 | » | » | » | » | 74.76 | 62.85 |
| Chaux | » | 1.12 | 2.19 | » | » | » | » | 4.98 | 9.17 |
| Sable | » | 9.26 | 10.97 | » | » | » | » | 2.82 | 4.88 |
| | | 100.00 | 100.00 | | | | | 100.00 | 100.00 |
| *Analyse chimique.* | | | | | | | | | |
| Eau | 3.62 | 9.46 | 3.91 | 2.95 | 2.42 | 4.72 | 1.43 | 8.81 | 13.29 |
| Matière organique et eau combinée | 4.23 | 4.87 | 4.80 | 6.75 | 11.70 | 11.03 | 3.39[1] | 8.63 | 9.81 |
| Oxyde de fer } Alumine } | 7.51 | 17.38 | 7.85 | 6.10 | 11.86 | 9.98 | 12.16 | 14.28 | 16.72 |
| Alumine | | | | | | 6.06 | | 3.29 | 2.46 |
| Acide phosphorique | » | 0.06 | 0.04 | » | 0.08 | » | » | 0.21 | 0.03 |
| Carbonate de chaux | 67.50 | 1.02 | 2.08 | 1.22 | 1.21 | 12.10 | 0.15 | 4.61 | 8.97 |
| Sulfate de chaux | » | 0.13 | 0.15 | » | 0.31 | 0.75 | » | 0.37 | 0.28 |
| Magnésie | 0.41 | 0.92 | | | » | | | 1.03 | 0.55 |
| Potasse } Soude } | 0.79 | 0.45 | 0.32 | 1.20 | 0.91 | 1.43 | 0.46 | 0.46 | 0.88 |
| Soude | | | | | » | | | 0.21 | 0.33 |
| Chlorure de sodium | » | » | » | » | 0.11 | » | » | 0.02 | 0.02 |
| Silice soluble | » | » | » | » | 4.09 | 17.93 | » | 8.20 | 4.29 |
| Matières insolubles | 15.88 | 65.71 | 80.85 | 82.22 | 67.53 | 36.00 | 82.41 | 50.10 | 40.20 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.44 | 100.25 | 100.00 | 100.00 | 100.21 | 99.83 |

1. Renfermant azote 0,21 = ammoniaque 0,25.

vant 2gr,620 de potasse hydratée caustique, chimiquement pure (KO,HO), dans 1lit,810 d'eau; elle titrait par conséquent 0.1145 p. 100 de potasse caustique hydratée, ou 0.1213 de potasse anhydre.

Cette solution, introduite dans un flacon fermé, avec 226gr,70 de sol, laissée en contact et agitée à plusieurs reprises avec le sol pendant 4 jours, puis décantée, filtrée, bouillie avec de l'eau de baryte pour précipiter les matières terreuses enlevées au sol, évaporée jusqu'à siccité après avoir chassé l'excès de baryte, a laissé un résidu dans lequel on a dosé la potasse par le bichlorure de platine.

Les résultats des expériences faites sur les cinq sols nos 1 à 6 sont groupés dans le tableau XIV.

**TABLEAU XIV. — Absorption de la potasse caustique.**

| 1re SÉRIE. *Potasse caustique.* | SOL calcaire marne crayeuse. 1. | ARGILE tenace, sous-sol et couche arable. 2 et 3. | LOAM léger à turneps. 4. | TERRE de prairie. 5. | SOL marneux. 6. | SOL sableux stérile. 7. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1000 parties de dissolution titraient en potasse, avant contact avec le sol . . . | 1.213 | 1.213 | 1.213 | 1.213 | 1.213 | 1.213 |
| Après contact . . . . . . | 0.413 | 0.399 | 0.501 | 0.390 | 0.305 | 0.430 |
| Perte. . . . . . | 0.800 | 0.814 | 0.712 | 0.823 | 0.908 | 0.783 |
| 1000 parties de sol ont absorbé potasse caustique . | 6.40 | 6.51 | 5.69 | 6.57 | 7.26 | 6.16 |

Comme observations spéciales, il y a lieu de signaler que le loam fertile à turneps n° 4 a absorbé moins de potasse que les terres calcaires et argileuses ; et que le sol marneux a, de tous les sols soumis à l'expérience, absorbé le plus de potasse. Or, ce sol marneux renfermait une forte proportion de silice soluble, et relativement d'oxyde de fer et d'alumine. La présence de ces éléments dans des terres marneuses et argileuses bien cultivées semble être une garantie du pouvoir d'absorption pour la potasse. Dans les terres de cette

nature, qui ne sont pas suffisamment labourées et ameublies, où l'action de l'air et de l'eau ne s'exerce pas librement, les oxydes de fer, l'alumine et la silice sont à un tel état que les réactifs chimiques ne les altèrent pas.

D'une manière générale, on doit constater que tous les sols, depuis l'argile la plus dense jusqu'au sable le plus pauvre, ont absorbé une quantité notable de potasse dans une dissolution aqueuse de cet alcali. La quantité absorbée, considérée à un point de vue absolu, varie beaucoup, notamment d'après le degré de force de la dissolution, comme pour l'ammoniaque ; et aussi d'après les rapports des volumes de sol et de liquide ; de toutes manières, l'absorption n'est jamais complète.

*2e série. Carbonate de potasse.* — Les deux sols argilo-calcaires nos 8 et 9 du tableau XIII ont été traités, comme dans la série précédente, par une dissolution contenant 0.556 p. 100 de carbonate de potasse pur.

1000 parties du sol n° 8 ont absorbé 8.69 de carbonate égal à 5.92 de potasse caustique anhydre.

1000 parties du sol n° 9 ont absorbé 7.98 de carbonate égal à 5.435 de potasse anhydre.

*3e série. Sulfate de potasse.* — *a.* Les deux sols argilo-calcaires nos 8 et 9 ont été également soumis à l'action d'une dissolution de sulfate de potasse pur, en quantité de 0.621 p. 100.

Pour le sol n° 8, 1000 parties ont absorbé 8.770 de sulfate, égal à 4.715 de potasse, et pour le sol n° 9, 1000 parties ont absorbé 8.901 de sulfate égal à 4.809 de potasse. L'absorption aurait été moindre pour le sulfate que pour le carbonate de potasse.

*b.* Le sol marneux n° 6 du tableau (0gr,453) a été traité par une dissolution de 7gr,824 de sulfate pur de potasse dans 3lit,627 d'eau distillée, soit 2gr,156 par litre. Au bout de quatre jours, le liquide décanté a été analysé ; il renfermait par litre :

| | Grammes. |
|---|---|
| Matière organique et eau combinée | 0,097 |
| Silice soluble | 0,003 |
| Oxyde de fer, alumine et traces d'acide phosphorique | 0,003 |
| Sulfate de chaux | 0,703 |
| Sulfate de magnésie | 0,033 |

| | Grammes |
|---|---|
| Sulfate de potasse | 1,273 |
| Chlorure de potassium | 0,027 |
| Chlorure de sodium | 0,022 |
| | 2,161 |

Ainsi, la matière solide est à peu près la même que celle contenue dans la dissolution avant le contact avec le sol ; mais ce n'est plus uniquement du sulfate de potasse. Le sulfate de magnésie, ainsi que le sulfate de chaux prédominent dans la liqueur ; c'est qu'en effet, tandis qu'une portion de la potasse s'est fixée, l'acide sulfurique mis en liberté s'est combiné dans le sol avec la chaux et avec la magnésie. Aucune absorption d'acide sulfurique n'a eu lieu, car la liqueur après contact avec le sol indique à l'analyse une légère augmentation due au sulfate de chaux contenu dans le sol. Le contact d'une dissolution d'un simple sel avec le sol donne lieu en conséquence à nombre de nouvelles combinaisons chimiques, dont plusieurs jouent un rôle important dans l'alimentation des plantes.

*c*. Le sol sableux n° 7 du tableau XIII, traité par la même dissolution de sulfate qu'en *b*, a, dans les mêmes conditions, laissé un liquide renfermant par litre :

| | Grammes. |
|---|---|
| Matière organique et eau combinée | 0,145 |
| Silice soluble | 0,002 |
| Oxyde de fer, alumine et traces d'acide phosphorique | 0,002 |
| Sulfate de chaux | 0,088 |
| Sulfate de magnésie | 0,027 |
| Chlorure de potassium | 0,053 |
| Sulfate de potasse | 1,820 |
| | 2,137 |

La dissolution renfermait primitivement 2gr,156 par litre de matières solides ; après filtrage dans le sol, elle en renferme à peu près la même quantité, mais comme dans l'essai précédent, la composition a été notablement modifiée.

Tandis que dans l'essai *b*, 1000 parties de sol ont absorbé 3.67 de potasse, dans celui-ci, 1000 parties de sol en ont absorbé

seulement 1.19. Le sol sableux jouirait ainsi d'une puissance absorbante pour le sulfate de potasse moins forte que le sol marneux.

Avant d'avoir été en contact avec le sol, la dissolution dosait $9^{gr},915$ par litre, d'acide sulfurique ; tandis que le résidu du liquide après contact renfermait $9^{gr},077$ de ce même acide réparti comme il suit :

| Grammes. | |
|---|---|
| 8,364 | combiné avec la potasse. |
| 0,521 | — avec la chaux. |
| 0,192 | — avec la magnésie. |
| 9,077 | |

Il s'ensuivrait qu'une partie de l'acide sulfurique a été absorbée par le sol ; ce qui n'est pas le cas, car en dosant cet acide séparément dans la dissolution après contact avec le sol, sans recourir à l'évaporation, on y trouve $10^{gr},064$ par litre, c'est-à-dire un léger excédent. Il est évident, d'après cela, qu'en évaporant jusqu'à siccité et en chauffant fortement le résidu, on a chassé une partie de l'acide ; mais comme la dissolution n'accusait aucune réaction acide, cet acide n'y était pas à l'état libre. On doit admettre qu'il s'y trouvait en combinaison avec l'ammoniaque et comme le sulfate d'ammoniaque est volatil à une haute température, il ne s'est plus retrouvé dans le résidu d'évaporation ; ce qui explique la perte.

Ces remarques ne sont pas les seules qui méritent d'être présentées. Ainsi, le sol sableux renfermant de l'oxyde hydraté de fer dont l'affinité pour la potasse caustique est connue, a absorbé beaucoup moins de potasse contenue dans la dissolution de sulfate, que de cette même base dans la dissolution de potasse caustique.

Après filtrage dans le sol sableux, la dissolution de sulfate renfermait une quantité appréciable de sulfate d'ammoniaque, contrairement à ce qui a été observé pour le sol marneux. Quoique le pouvoir absorbant des terres arables pour l'ammoniaque soit regardé comme supérieur à ce qu'il est pour la potasse, on observera que, dans cet essai, un sel de potasse agissant sur un composé ammoniacal dans le sol a dominé l'affinité du sol pour l'ammoniaque. Le manque de chaux dans le sol sableux a causé l'élimination et la perte de composés ammoniacaux que le sol marneux riche en chaux a, au contraire,

retenus. La chaux, dans des circonstances déterminées, peut ainsi favoriser dans le sol la rétention de composés ammoniacaux si utiles comme fertilisants.

Cette observation confirme les bons effets de la pratique du chaulage ou du marnage dans les terres pauvres sablonneuses, avant qu'on leur applique du fumier ou du guano. Ce n'est pas seulement par l'apport d'un élément indispensable à la nutrition, que le chaulage ou le marnage sont efficaces dans de pareilles terres, mais la chaux aide à retenir dans le sol les substances fertilisantes telles que les sels d'ammoniaque ou de potasse qui autrement filtreraient promptement à travers la terre. Les sels solubles du fumier ou du guano sont absorbés, tandis que les acides combinés avec la chaux sont entraînés sans grand inconvénient.

**TABLEAU XV. — Absorption du chlorure de potassium.**

| 4e SÉRIE. *Chlorure de potassium.* | SOL calcaire. 1. | SOL argileux. 2 et 3. | LOAM léger. 4. | TERRE de prairie 5. | ARGILES CALCAIRES de Cirencester. 8. | 9. | SOL sableux. 7. | SOL marneux. 6. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1000 parties de dissolution titraient en chlorure de potassium, avant contact avec le sol | 1.889 | 1.889 | 1.889 | 1.889 | 6.617 | 6.617 | 18.664 | 18.664 |
| Après contact avec le sol. | 1.179 | 1.102 | 1.445 | 1.144 | 2.601 | 1.145 | 15.763 | 11.982 |
| Perte. | 0.710 | 0.787 | 0.444 | 0.745 | 4.016 | 5.472 | 2.901 | 6.682 |
| 1000 parties de dissolution titraient en potasse, avant contact avec le sol | 1.191 | 1.191 | 1.191 | 1.191 | 4.174 | 4.174 | 11.776 | 11.776 |
| Après contact avec le sol. | 0.744 | 0.695 | 0.863 | 0.722 | 1.641 | 0.723 | 9.944 | 7.561 |
| Perte. | 0.447 | 0.496 | 0.328 | 0.469 | 2.533 | 3.451 | 1.832 | 4.215 |
| 1000 parties de sol ont absorbé : potasse. | 3.578 | 3.97 | 2.626 | 3.758 | 5.066 | 6.903 | 1.465 | 3.373 |

*4e série. Chlorure de potassium.* — Des essais aussi complets que pour la potasse caustique, ont été renouvelés sur les mêmes sols,

avec des dissolutions de chlorure de potassium à titres variables. Les résultats sont consignés pour huit sols différents dans le tableau XV.

Dans les quatre premiers essais opérés avec une dissolution titrant 1889 de chlorure de potassium égal à 1191 de potasse p. 1.000, c'est le sol argileux (nos 2 et 3) qui a absorbé le plus de potasse, et le loam léger (n° 4) qui en a absorbé le moins. Avec une dissolution plus forte, les argiles calcaires (nos 8 et 9) ont retenu une proportion bien plus considérable de potasse. Enfin, avec la dissolution la plus forte, le sol sableux (n° 7) a montré le pouvoir absorbant le plus faible. Comme pour l'acide sulfurique, le chlore manquant dans le résidu d'évaporation de la liqueur filtrée n'a pas été retenu par le sol, mais s'est combiné avec l'ammoniaque et a été volatilisé à l'état de chlorhydrate d'ammoniaque, tandis que la totalité de la potasse a été fixée.

Dans le dernier essai sur le sol marneux (n° 6), la potasse du chlorure décomposé a été retenue par le sol, et le chlore combiné avec le calcium a passé dans la liqueur filtrée.

5e *série. Nitrate de potasse.* — Une seule expérience a été faite sur le même sol marneux (n° 6) traité par une dissolution titrant 3gr,65 par litre, de nitrate de potasse. Dans la dissolution, après trois jours de contact avec le sol, on a dosé séparément l'acide nitrique et la potasse :

| | ACIDE nitrique. | POTASSE. |
|---|---|---|
| Avant contact avec le sol | 1.950 | 1.698 |
| Après contact avec le sol | 1.930 | 0.754 |
| | 0.020 | 0.944 |

Ainsi, l'acide nitrique ayant à peine varié, la potasse a beaucoup diminué. 1000 parties de sol ont absorbé 3.776 de potasse.

Dans cet essai, comme dans les précédents, la base seule a été retenue et l'acide combiné avec la chaux est resté dans le liquide filtré.

La chaux joue ainsi un rôle important dans la mesure du degré d'absorption des terres arables. Quoique l'absence de chaux dans un sol n'empêche pas sa propriété absorbante d'agir, on est en droit d'en conclure que la présence d'une plus ou moins forte dose de chaux affecte le degré d'absorption d'une terre pour les substances solubles fertilisantes.

### 6. — Absorption de la soude[1].

Au point de vue agricole, la soude et les sels de soude jouent comme fertilisants un rôle bien moins important que la potasse et ses combinaisons.

Les analyses de cendres des plantes cultivées indiquent la présence sans exception d'une plus forte proportion de potasse que de soude; ce n'est pas là un fait accidentel, mais bien une conséquence de la distribution plus abondante dans le règne minéral, de la potasse. Quelle que soit la composition du sol qui produit le blé, l'avoine, les turneps, etc., la quantité de soude renfermée dans les cendres des récoltes est à peu près insignifiante par rapport à celle de la potasse.

La soude est absorbée par les plantes, comme la potasse, et mise en circulation dans l'organisme végétal, mais il est douteux qu'elle en fasse partie intégrante comme la potasse et l'acide phosphorique, sans lesquels les plantes ne peuvent accomplir le cycle de leur végétation.

Tandis que dans les cendres de nos récoltes, la quantité de potasse et d'acide phosphorique varie peu entre certaines limites, celle du sel marin dans les fourrages, l'herbe, les céréales avant d'avoir atteint leur maturité, est réglée par des circonstances accidentelles et varie beaucoup. L'herbe des marais salants est plus riche en sel marin que celle des hauts plateaux et pour cela plus savourée par le bétail. Les mangolds qui ont reçu une forte fumure de sel marin, contiennent invariablement plus de sel, surtout dans leurs feuilles; ces mêmes racines obtenues sans engrais salin en renferment relativement peu.

Il n'y a pas de plante cultivée dont la composition ne révèle la présence de la potasse en proportion appréciable. Quoique le sol soit peu riche en potasse, les plantes ont la propriété de l'extraire et de l'assimiler, pour l'incorporer dans leur organisme. Pour la soude dont la présence se manifeste par des quantités variables dans la sève des plantes, les combinaisons organiques avec le carbone, l'hydrogène, l'azote et les autres éléments, n'offrent point un ca-

1. *On the functions of soda-salts in agriculture,* 1865.

ractère aussi intime, ni aussi définitif. Ainsi, on ne trouve pas de sel marin dans les graines à parfaite maturité (blé, orge ou avoine), même dans les terres où le sel abonde, et pourtant les racines, les tiges, les feuilles renferment du sel à forte dose.

Il semblerait ainsi que le sel marin et les sels de soude d'une manière générale, circulent dans la plante, après avoir exercé une action dissolvante sur les principes insolubles contenus dans la terre arable, et jouent le rôle d'agents assimilateurs, mais ils ne sont pas des élements essentiels des cendres des plantes, absolument nécessaires pour la culture.

Ce n'est pas un motif pour contester l'action favorable du sel marin dans des cas déterminés ; au contraire, le sel marin judicieusement appliqué dans certaines conditions, constitue un engrais économique, destiné à accroître le rendement des céréales, des racines ou du foin, et qui est rarement nuisible. Dans les terres sableuses, perméables, lorsque la saison est sèche, les feuilles des racines se développent et se fanent avant d'avoir pu recevoir une nourriture suffisante de l'atmosphère et accumuler dans les bulbes assez de matières minérales du sol. Une fumure de 400 à 500 kilogr. de sel marin à l'hectare, augmente considérablement la récolte ; et si elle est portée jusqu'à 1,000 kilogr., la fumure, loin de nuire, assure un rendement plus élevé en racines, de 6,000 à 10,000 kilogr.

Mais, dans le cas de terres argileuses, tenaces, humides, et en général, dans les terres froides, où la maturité des récoltes s'obtient lentement, une fumure de sel marin qui excéderait 600 kilogr. à l'hectare ferait du mal, car le sel prolonge la durée de la végétation et retarde la maturité au détriment du volume du poids et de la qualité des racines.

Les expériences de Vœlcker sur le pouvoir absorbant des terres arables pour le sel marin et les sels de soude ont eu pour but d'éclairer le rôle qu'ils jouent dans le sol par rapport aux récoltes, et de vérifier ainsi les idées émises plus haut.

1re série. — *Sel marin* (chlorure de sodium). — Les sols au nombre de six, soumis aux essais, ont été analysés et leur composition figure dans le tableau XVI.

Les quatre sols, nos 1 à 4, traités par une dissolution de sel marin

titrant 1gr,48 de chlorure par litre, correspondant à 0gr,898 de chlore et 0gr,785 de soude et laissés en contact pendant quatre jours avec

**TABLEAU XVI. — Composition des sols essayés pour absorption de la soude.**

| | SOL calcaire. 1. | ARGILE compacte. 2. | LOAM sableux fertile. 3. | TERRE de prairie. 4. | SOL marneux. 5. | SABLE ferrugineux stérile. 6. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Analyse mécanique.* | | | | | | |
| Eau . . . . . . . . . . | » | 3.91 | » | » | » | » |
| Matière organique et eau combinée . . . . . . | » | 4.80 | » | » | » | » |
| Argile . . . . . . . . . | » | 78.13 | » | » | » | » |
| Chaux . . . . . . . . . | » | 2.19 | » | » | » | » |
| Sable . . . . . . . . . | » | 10.92 | » | » | » | » |
| | | 100.00 | | | | |
| *Analyse chimique.* | | | | | | |
| Eau . . . . . . . . . . | 3.62 | 3.91 | 2.95 | 2.420 | 4.72 | 1.43 |
| Matière organique. . . . | 4.23 | 4.80 | 6.75 | 11.700 | 11.03 | 3.39[1] |
| Oxyde de fer. . . . . . | 7.54 | 7.85 | 6.10 | 11.860 | 9.98 | 12.16 |
| Alumine . . . . . . . . | | | | | 6.06 | |
| Carbonate de chaux. . . | 67.50 | 2.08 | 1.22 | 1.240 | 12.10 | 0.15 |
| Sulfate de chaux . . . . | » | 0.15 | » | 0.306 | 0.75 | » |
| Magnésie . . . . . . . . | 0.44 | | | » | | |
| Potasse. . . . . . . . . | 0.79 | 0.32 | 1.20 | 0.910 | 1.43 | 0.46 |
| Soude . . . . . . . . . | | | | » | | |
| Chlorure de sodium. . . | » | » | » | 0.112 | » | » |
| Chlore . . . . . . . . . | traces | » | » | » | » | » |
| Acide phosphorique. . . | | 0.04 | » | 0.080 | | traces |
| Silice soluble . . . . . | » | » | » | 4.090 | 17.93 | » |
| Matières insolubles . . . | 15.88 | 80.85 | 82.22 | 67.530 | 36.00 | 82.41 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.44 | 100.248 | 100.00 | 100.00 |

1. Renfermant azote 0,21 = ammoniaque 0.25.

elle, ont donné une dissolution dont la composition après filtrage est indiquée dans le tableau XVII.

Dans les deux sols nos 5 et 6, le titre de la dissolution variait par rapport à celui de la dissolution précédemment employée : il était

de 1gr,44 de chlorure correspondant à 0,874 de chlore et 0,762 de soude. La composition de la dissolution filtrée, après séjour dans le sol, se trouve également dans le tableau XVII sous les numéros respectifs, en grammes par litre.

Les résultats quant à l'absorption du chlorure et de ses deux éléments, chlore et soude, sont rapportés dans le tableau XVIII, de même que les combinaisons du chlore avec le sodium, le magnésium, le potassium et le calcium dans la dissolution après filtrage.

**TABLEAU XVII. — Analyses des dissolutions de chlorure de sodium après filtration dans le sol.**

| | SOL calcaire. 1. | ARGILE compacte. 2. | LOAM sableux fertile. 3. | TERRE de prairie. 4. | SOL marneux. 5. | SABLE ferrugineux stérile. 6. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Matière organique . . . . | » | » | » | » | 0.090 | 0.078 |
| Silice soluble . . . . . . | 0.013 | 0.013 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.006 |
| Oxyde de fer et alumine. . | 0.006 | 0.010 | 0.007 | 0.010 | 0.003 | 0.004 |
| Chlorure de sodium. . . . | 1.294 | 1.246 | 1.334 | 1.247 | 1.201 | 1.293 |
| — de potassium. . . | 0.037 | 0.064 | 0.061 | 0.026 | 0.019 | 0.029 |
| — de magnésium . . | 0.011 | 0.048 | 0.011 | 0.017 | 0.016 | 0.011 |
| — de calcium. . . . | 0.216 | 0.136 | 0.164 | 0.189 | 0.206 | 0.022 |
| Sulfate de chaux. . . . . | 0.269 | 0.049 | 0.034 | 0.015 | 0.051 | 0.038 |
| Carbonate de chaux. . . . | » | » | » | » | 0.077 | » |
| Acide phosphorique. . . . | traces | 0.003 | traces | traces | 0.001 | 0.001 |
| Total par litre . . . | 1.846 | 1.569 | 1.615 | 1.508 | 1.668 | 1.482 |

On reconnaît d'après ce dernier tableau que la quantité de chlorure de sodium absorbé par la terre est très faible, et en tout cas bien plus faible pour la soude que pour la potasse ; de plus, qu'aucune absorption de chlore ne s'est opérée. Dans la dissolution filtrée, le chlore ne se trouve plus entièrement combiné avec le sodium, mais il s'est produit des doubles décompositions entre le sel marin et les sels contenus dans la terre arable, de telle sorte que la dissolution filtrée renferme avec une moindre quantité de chlo-

rure de sodium, de faibles quantités de chlorures de magnésium, de potassium et de calcium.

Le pouvoir absorbant pour la soude est plus élevé dans la terre argileuse et marneuse ou calcaire que dans les sols légers ou sableux.

En analysant le liquide salé qui avait séjourné dans les terres nos 5 et 6, au point de vue de la matière organique contenue, il a été reconnu qu'une partie du chlore était combinée avec l'ammoniaque, à l'état de chlorure, qui se volatilise naturellement pendant l'évaporation à siccité. Il y aurait ainsi lieu de conclure que le principal rôle du sel marin est d'amener à l'état de chlorhydrate d'ammoniaque les combinaisons ammoniacales qui sont fixées dans la terre arable.

Dans la pratique, en effet, on constate que l'emploi du sel est particulièrement utile lorsqu'il est appliqué sur une terre légère, après une bonne fumure au fumier de ferme, seul, ou en mélange avec le guano du Pérou, pour la culture du blé et des autres céréales. Des expériences faites sur une large échelle ont montré que le sel employé seul, sur des terres bien fumées précédemment, a produit un excédent de rendement en grains; et dans ce cas, le sel marin a eu évidemment pour effet de dégager l'ammoniaque et de la mettre immédiatement à la disposition des céréales. Sur des terres non fumées et hors d'état, le sel marin ne saurait produire d'aussi bons effets, par suite de l'absence, par épuisement, des composés ammoniacaux.

L'avantage reconnu par beaucoup de cultivateurs, qu'il y a à mélanger du sel avec le guano, ne serait donc pas dû à ce que le sel fixe l'ammoniaque du guano, comme on l'a souvent prétendu à tort, car le bon guano ne renferme pas d'ammoniaque libre, mais consisterait, bien au contraire, à la dégager et à la disséminer dans le sol à un état tel qu'elle puisse y être fixée.

Le sol sableux stérile n° 6 soumis à l'essai, qui avait reçu l'année précédente une bonne fumure de guano, avait retenu assez d'ammoniaque à l'état libre pour que l'analyse en ait constaté la présence ; de telle sorte que se combinant avec une proportion équivalente du chlore contenu dans le chlorure de sodium, cette ammo-

niaque est passée à l'état de chlorhydrate dans la liqueur filtrée, et la soude s'est fixée dans le sol. Ainsi, le mélange du sel marin avec le guano, augmente l'efficacité de ce dernier et se justifie au point de vue économique, surtout dans les terres légères.

**TABLEAU XIX. — Absorption du sulfate de soude.**

| | SOL MARNEUX. 5. | | SABLE STÉRILE. 6. | |
|---|---|---|---|---|
| 1. — *Analyses des dissolutions de sulfate après filtration.* | gr. | | gr. | |
| Matière organique | 0.016 | | 0.116 | |
| Silice soluble | 0.006 | | 0.004 | |
| Oxyde de fer et alumine | 0.003 | | 0.003 | |
| Acide phosphorique | Traces. | | Traces. | |
| Carbonate de chaux | 0.099 | | » | |
| — de magnésie | 0.009 | | » | |
| — de potasse | 0.008 | | » | |
| Sulfate de chaux | 0.303 | | 0.061 | |
| — de magnésie | » | | 0.023 | |
| — de potasse | » | | 0.029 | |
| Chlorure de sodium | 0.045 | | 0.024 | |
| Sulfate de soude | 1.317 | | 1.417 | |
| | 1.806 | | 1.677 | |
| 2. — *Absorption du sulfate et de la soude.* | | | | |
| Un litre de la dissolution contenait : | | | | |
| Avant filtrage : sulfate de soude | 1.60 | » | 1.60 | » |
| — : soude | » | 0.70 | » | 0.70 |
| Après filtrage : sulfate de soude | 1.32 | » | 1.42 | » |
| — : soude | » | 0.47 | » | 0.62 |
| Différences | — 0.28 | — 0.23 | — 0.18 | — 0.08 |
| 1000 parties de sol ont absorbé : *soude.* | 1.809 | | 0 653 | |

2e *série.* — *Sulfate de soude.* — Les sols nos 5 et 6 ont été traités pour essai d'absorption par une dissolution renfermant 1,604 de sulfate de soude anhydre. Après quatre jours de contact, les liquides filtrés ont donné à l'analyse la composition rapportée dans le tableau XIX.

Dans l'expérience sur le sol no 5, le sulfate de soude a agi sur le

carbonate de chaux renfermé dans le sol, pour produire en premier lieu du sulfate de chaux, suffisamment soluble dans l'eau pour passer dans la dissolution, et du carbonate de soude. Les silicates ou les autres composés pour lesquels la soude a de l'affinité, agissent sur le carbonate de soude et en fixent la base. Aucune absorption d'acide sulfurique n'a eu lieu, car le léger excédent constaté par rapport à la proportion de l'acide contenu dans le sulfate de soude, résultait du sulfate de chaux du sol.

Dans l'essai du sol n° 6, renfermant de l'ammoniaque combinée, une partie de l'acide sulfurique associé à la soude s'est combinée avec l'ammoniaque pour passer dans la liqueur filtrée. De telle sorte qu'une dissolution de sulfate de soude, bien qu'à un moindre degré, jouit de la propriété, comme celle de sel marin, de favoriser la solubilité des sels ammoniacaux.

Le sol n° 5, riche en carbonate de chaux, a absorbé plus de soude au contact d'une dissolution de sulfate de soude, qu'au contact d'une dissolution de chlorure de sodium, et près de trois fois autant de soude que le sol sableux stérile.

3e *série.* — *Nitrate de soude.* — Cette série s'est bornée à un essai sur le sol marneux n° 5, traité par une dissolution renfermant 3gr,56 de nitrate de soude. Après trois jours de contact, le liquide filtré soumis à l'analyse a donné les résultats suivants :

Un litre de dissolution renfermait :

| | Avant filtrage. | Après filtrage. |
|---|---|---|
| | Grammes. | Grammes. |
| Acide nitrique | 2,260 | 2,244 |
| Soude | 1,300 | 1,360 |
| Potasse | » | 0,060 |
| Chaux | » | 0,344 |
| | 3,560 | 4,008 |

Ainsi le sol marneux a abandonné à la dissolution de faibles quantités de chlorure de sodium, de potasse et de carbonate de chaux ; ce qui explique la plus forte proportion de soude dans la dissolution après filtrage ; mais la proportion d'acide nitrique n'a pas sensiblement varié, de façon que ni l'acide nitrique, ni la soude n'ont été fixés.

TABLEAU XVIII. — Absorption du chlore, du chlorure de sodium et de la soude.

| Par litre. | SOL CALCAIRE. 1. | | SOL ARGILEUX compact. 2. | | LOAM SABLEUX. 3. | | TERRE DE PRAIRIE. 4. | | SOL MARNEUX. 5. | | SOL SABLEUX stérile. 6. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Chlore dans la dissolution avant filtrage . . . | 0.898 | | 0.898 | | 0.898 | | 0.898 | | 0.874 | | 0.874 | |
| — — après filtrage . . . | 0.918 | | 0.907 | | 0.951 | | 0.902 | | 0.881 | | 0.820 | |
| Différences. . . . . | + 0.050 | | + 0.009 | | + 0.053 | | + 0.001 | | + 0.007 | | — 0.051 | |
| Chlore dans la dissol. comb. avec sodium. . . | 0.785 | | 0.754 | | 0.809 | | 0.757 | | 0.729 | | 0.785 | |
| — — — avec magnésium. | 0.008 | | 0.036 | | 0.008 | | 0.012 | | 0.012 | | 0.008 | |
| — — — avec potassium . | 0.017 | | 0.030 | | 0.029 | | 0.012 | | 0.099 | | 0.014 | |
| — — — avec calcium . . | 0.138 | | 0.087 | | 0.105 | | 0.121 | | 0.031 | | 0.013 | |
| | 0.948 | | 0.907 | | 0.951 | | 0.902 | | 0.881 | | 0.820 | |
| Chlorure de sodium avant filtrage . . . . . . | 1.48 | » | 1.48 | » | 1.48 | » | 1.48 | » | 1.44 | » | 1.44 | » |
| — Soude avant filtrage. . . . . . . | » | 0.78 | » | 0.78 | » | 0.78 | » | 0.78 | » | 0.76 | » | 0.76 |
| — de sodium après filtrage . . . . . . | 1.29 | » | 1.25 | » | 1.33 | » | 1.25 | » | 1.20 | » | 1.29 | » |
| — Soude après filtrage . . . . . . . | » | 0.68 | » | 0.66 | » | 0.70 | » | 0.66 | » | 0.64 | » | 0.68 |
| Différences. . . . . | — 0.19 | — 0.10 | — 0.23 | — 0.12 | — 0.15 | — 0.08 | — 0.23 | — 0.12 | — 0.21 | — 0.12 | — 0.15 | — 0.08 |
| 1,000 parties de sol ont absorbé, soude . . . . | 0.800 | | 1.057 | | 0.620 | | 1.000 | | 0.996 | | 0.620 | |
| — avaient absorbé, potasse. . | 3.580 | | 3.970 | | 2.630 | | 3.760 | | 3.370 | | 1.460 | |

## III. — Conclusions.

Dans une remarquable leçon professée à la *Royal Institution* en 1863[1], Vœlcker a résumé ses vues sur les propriétés chimiques et la puissance de production des terres arables. Quelques extraits de cette leçon serviront de conclusion naturelle au chapitre que nous avons consacré aux recherches du savant chimiste sur le sol.

« Les matières minérales qui forment la cendre des plantes cultivées, ont au sens strict une égale importance, car l'absence ou l'insuffisance dans le sol de l'une d'elles, chaux ou potasse, acide phosphorique ou acide silicique, a les mêmes conséquences défavorables pour le développement de l'organisme végétal. Quiconque a tant soit peu étudié le sujet, n'hésitera pas d'accepter une théorie minérale qui consiste à associer la puissance productive des terres arables à la proportion de matières minérales contenues dans les cendres des plantes que renferment les terres..... Les combinaisons dans lesquelles les éléments minéraux des plantes existent dans le sol ; leur distribution uniforme ou inégale dans la couche superficielle ; la composition et la condition physique du sous-sol, l'épaisseur de ces couches, leur perméabilité et leur propriété d'absorber, de retenir ou de modifier les substances fertilisantes appliquées dans la culture, sont en relation intime avec les grandes différences qu'offrent les rendements des terres cultivées. Avant que Liebig eût publié son célèbre livre sur la chimie et ses applications à l'agriculture, qui a donné le coup de grâce à la théorie de l'humus, la fertilité ou la stérilité des terres était généralement attribuée à leurs propriétés physiques et à la présence ou au manque d'humus. Après la publication de Liebig, les agronomes tombèrent dans l'extrême opposé, en croyant que la simple analyse chimique d'un sol et l'analyse des cendres des plantes, suffisaient pour découvrir les moyens de rendre à la terre sa fertilité, sinon de l'améliorer, par l'apport de matières purement minérales, au point de pouvoir y cultiver toutes les plantes avec de gros rendements, sans tenir compte de ses aptitudes spé-

1. Le 28 mai 1883. *Farmer's magazine,* 23e vol., 1863, p. 505.

ciales pour telle ou telle culture. Ces vues erronées, tout en rendant moins populaire la chimie agricole, lui ont assigné une utilité plus immédiate aux yeux de l'agriculteur éclairé.

« Les recherches capitales du professeur Way sur les propriétés absorbantes des terres arables ont imprimé, dès 1850, une nouvelle direction aux études sur les fonctions de l'humus et du sol ; ces recherches avaient pris naissance dans l'observation faite par Thompson, de Kirby Hall, comté d'York, que les sols jouissent de la propriété de séparer l'ammoniaque de ses dissolutions. »

Le professeur Way ayant opéré principalement avec des dissolutions de sels simples, il y avait lieu de vérifier non seulement les résultats obtenus, mais encore de les étendre, en agissant avec des liquides complexes; c'est ce que Vœlcker a heureusement fait, en tirant des ses expériences les conclusions importantes que nous avons énumérées.

La propriété dont jouissent les sols d'emmagasiner la nourriture destinée aux plantes, n'est pas limitée à une seule substance fertilisante, mais elle s'applique à toutes les substances, et se manifeste d'une manière que la composition des sols fait seule varier. « Dans toutes mes expériences, ajoute Vœlcker, l'ammoniaque, la potasse, l'acide phosphorique et les autres éléments de fertilité, dans une dissolution quelque concentrée ou quelque faible qu'elle fût, n'ont point été entièrement absorbés par le sol. De fait, si les dissolutions salines sont très étendues, il s'opère à peine une absorption d'ammoniaque, de potasse ou d'acide phosphorique. Tant est que le *sewage,* ou les eaux des égouts, à cause de leur extrême dilution, laissent en passant à travers le sol une quantité très minime de leurs éléments solubles, à l'état fixe ou moins soluble, bien que le sol possède à un haut degré le pouvoir d'absorber et de retenir les matières fertilisantes solubles. Quelque utiles ou indispensables qu'elles soient, les matières salines solubles, si elles sont fournies au sol en trop grande abondance, ou à l'état de dissolution trop concentrée, nuisent à la croissance rapide de la plante. Une des fonctions du sol consiste apparemment dans la transformation des composés facilement solubles, en combinaisons assez peu solubles dans l'eau, susceptibles toutefois de fournir à la plante l'aliment minéral voulu à

l'état de dissolution. Cette remarquable fonction explique comment les matières fertilisantes ne sont pas entraînées en pure perte par les pluies qui baignent le sol, et l'inefficacité de fertilisants solubles concentrés. Elle ne dépend pas seulement, pour la modification des matières fertilisantes, de la constitution chimique des terres, mais aussi du degré de concentration des liquides et de la quantité de matières incorporées avec la masse du sol où végètent les racines. De là naissent les différences que le même engrais révèle dans les divers sols, et que cause une saison sèche par rapport à une saison humide.

« Le sol ne pourvoit pas seulement à l'alimentation de la plante, mais il fabrique de la nourriture à l'état assimilable avec des matières brutes; il écarte pour la plante qui croît, les dangers d'une trop forte accumulation de matières solubles dans la couche arable; il emmagasine l'excédent de ces matières, pour les distribuer plus tard également, là où pénètrent les racines, et les modifier suivant les exigences des récoltes et ses aptitudes particulières. »

Les avis des chimistes sur les causes du pouvoir absorbant de la terre arable sont partagés.

Liebig le considère comme analogue, sinon identique, à la propriété physique que possède le charbon végétal ou animal de fixer les matières colorantes : par conséquent, les matières fertilisantes solubles amenées au contact du sol, sont absorbées en partie ou en totalité par la couche superficielle, étant présentes à l'état physique de combinaison, comme il l'appelle.

Way, d'autre part, croit que l'absorption est due à la présence dans le sol de silicates doubles d'alumine. Le silicate double d'alumine et de soude, par exemple, abandonne au contact du sol, d'après Way, la soude, et la remplace par de la chaux. Ce double silicate d'alumine et de chaux, au contact de la magnésie, abandonne la chaux qui passe dans la dissolution et il se forme un silicate double d'alumine et de magnésie qui, à son tour, est décomposé de la même manière par la potasse ; finalement, la potasse, dans le silicate double d'alumine et potasse, cède sa place à l'ammoniaque pour former un silicate double d'alumine et d'ammoniaque. En répétant les expériences de Way, on constate qu'en effet ces échanges s'effectuent

comme il l'indique; mais si un composé de silice, d'alumine et d'ammoniaque, préparé suivant ses indications, est mélangé avec un excès de dissolution contenant un sel de potasse, l'ammoniaque passe dans la dissolution et la potasse est absorbée par le composé. De même, si ce composé de silice, d'alumine et de potasse est traité par un excès de dissolution de chaux, la potasse s'en va dans la dissolution, et la chaux est absorbée. Comme, dans aucun cas, la substitution d'une base à l'autre ne s'opère en proportions équivalentes, et qu'aucun silicate double d'une composition définie n'est produit, tandis que la présence de silicates à formule définie dans le sol est avérée, il y a lieu de recourir à une autre explication que celle suggérée par Way.

« L'absorption par les terres arables des matières fertilisantes solubles, dit Vœlcker, s'explique facilement en se référant à des faits chimiques bien connus. En ce qui concerne les phosphates solubles, ou l'acide phosphorique, l'affinité pour l'acide phosphorique, du carbonate de chaux, de l'oxyde de fer et de l'alumine, présents dans tous les sols fertiles, justifie l'échange. Quant à la potasse et à l'ammoniaque, les oxydes hydratés de fer et d'alumine du sol jouent un grand rôle dans l'absorption. Comme toutes les bases de la formule $M_2O_3$, ces oxydes à l'état hydraté agissent vis-à-vis des alcalis à la façon d'acides faibles, et, pour ce motif, ont une tendance, dans des circonstances déterminées, à s'unir avec la potasse ou l'ammoniaque. L'absorption par le sol de l'ammoniaque, de la potasse et de l'acide phosphorique, qui sont les agents de fertilité les plus importants, est due par conséquent à des causes chimiques et non pas simplement à des causes physiques.

« Il est vrai que la condition physique du sol affecte matériellement sa puissance productive, car les réactions chimiques ne peuvent bien se passer que dans un sol amené à un état physique approprié. Liebig, comme tous les cultivateurs éclairés, attache un grand prix à la culture mécanique du sol ; mais Liebig insiste surtout sur ce qu'il appelle *l'état physique de combinaison* des matières minérales dans la couche superficielle, pour que les plantes puissent les utiliser. Quel que soit le sens précis du terme employé, état physique de combinaison ; quelque hypothèse que l'on fasse sur le mode d'ali-

mentation minérale des plantes, par des dissolutions ou des composés mystérieux, dont Liebig, dans ses *Lois de l'agriculture,* a varié les formules, il est certain que les matières minérales ne peuvent servir aux plantes que si elles se trouvent dans la couche arable à l'état *valable* d'assimilation. Cet état valable, qui donne une idée au moins aussi nette que l'état physique de combinaison, ne peut être obtenu dans le sol que si l'eau le pénètre librement ; ce qui se réalise par diverses façons mécaniques, telles que le labour profond, le sous-solage, le hersage, etc. Toutes ces façons culturales ont pour effet d'augmenter la porosité du sol et, par cela même, son attraction capillaire.

« Dès que commence la saison sèche et chaude de l'année et que la végétation s'anime, la nourriture minérale, déjà emmagasinée dans les couches inférieures, prend une marche ascendante. Par l'évaporation de l'eau superficielle, de nouvelles provisions sont amenées à la surface par l'attraction capillaire et la fertilité s'y trouve rétablie. L'apparition des nitrates et d'efflorescences salines à la surface du sol, après une longue sécheresse, démontre le jeu de cette attraction qui ne s'exerce plus, malgré les richesses minérales contenues dans le sous-sol, lorsque la couche arable repose sur un sous-sol imperméable et non drainé. Si la jachère d'hiver ne rend pas la fertilité au sol qui n'a pas été préalablement labouré, sous-solé ou mécaniquement ameubli, c'est parce que l'attraction capillaire ne peut pas s'exercer. A cette même cause se rattache le succès des cultures sur les terres argileuses, bien cultivées, quand l'intervalle entre les pluies et la sécheresse n'est ni trop court, ni trop prolongé. »

# LIVRE II. — LA PLANTE

Il semble inutile de rappeler de quelle importance a été pour l'étude physiologique de la plante en général, la connaissance de sa composition immédiate et de la constitution chimique des cendres de ses principaux organes.

Depuis que les recherches de Dumas et Boussingault, de Liebig, etc., ont assigné le rôle du sol, de l'atmosphère et de l'engrais par rapport à la plante; depuis que des méthodes perfectionnées de dosage des éléments, grâce aux progrès de la chimie, ont été appliquées, les analyses des végétaux de culture usuelle se sont accumulées dans ces dernières années. Le docteur Vœlcker a pris une grande part à ces investigations dirigées vers l'étude des facultés d'épuisement des plantes agricoles, et de leur utilisation comme nourriture des animaux. L'embarras ne peut que naître de la crainte d'omettre quelques-uns des résultats précieux qu'il a consignés dans de nombeux mémoires et dans ses registres de laboratoire.

En dehors de quelques recherches faites au début à un point de vue purement botanique, dont nous rendons un compte très sommaire, Vœlcker s'est attaché surtout à l'examen des végétaux cultivés et conservés, sous le rapport de leurs principes nutritifs; et bien que nous devions consacrer plus tard un chapitre spécial à l'alimentation, nous ferons suivre ses analyses des considérations qu'il a fait valoir, sans égard aux redites qui pourraient se présenter.

Nous adopterons pour le classement des recherches de l'auteur sur les plantes agricoles, la division connue de plantes alimentaires, légumineuses, fourragères à racines alimentaires, fourragères non

légumineuses et industrielles, en y intercalant les fourrages ensilés et les produits des arbres, utilisés pour la nourriture des animaux. Les méthodes d'analyse que l'auteur a décrites, avec ses remarques sur le dosage de l'eau, des matières azotées et des cendres des végétaux, précèdent ce qui a trait aux plantes alimentaires[1].

## I. — Recherches botaniques.

La composition de la sève sécrétée de certains végétaux avait fait l'objet d'une étude spéciale de quelques botanistes. On croyait en général que cette sécrétion est de l'eau presque pure, de même que le liquide pénétrant dans les vaisseaux par les racines.

Vœlcker a examiné la composition chimique de la liqueur que renferment les cupules encore fermées du *Nepenthes distillatoria*. Cette liqueur est acide (acide fixe) et contient 0.92 p. 100 de substance solide, c'est-à-dire une proportion bien supérieure à celle des solutions nutritives que les plantes s'assimilent. Le résidu renferme du chlore, de la potasse, de la magnésie, de la chaux et un peu de soude.

Dans une autre cupule, le liquide contenait 0.91 p. 100 de résidu solide, dans lequel il y avait 25.86 p. 100 de matières organiques.

Dans une troisième cupule plus jeune, il n'a trouvé que 0.27 p. 100 de résidu. Enfin, dans les cupules qui venaient de s'ouvrir, la proportion s'élevait à 0.58, 0.62, 0.87 p. 100. Une seule fois il a constaté des traces d'acide sulfurique, et plusieurs fois, la présence des acides citrique et malique[2].

L'étude faite ultérieurement du liquide secrété par le *Mesembryanthemum crystallinum*, connu sous le nom vulgaire de *cristalline* ou de *glaciale*, a confirmé les résultats de l'examen de la sécrétion

1. Nous omettons comme n'offrant rien qui soit personnel à Vœlcker, le compte rendu d'une conférence faite par lui à la Société royale d'agriculture d'Angleterre, le 11 mai 1864, sur la nourriture atmosphérique des plantes (*Journ. Roy. agric. Soc. of England,* 1864). La question de l'ammoniaque atmosphérique a fait de tels progrès par les recherches de Schlœsing qu'il n'y aurait aucun intérêt à retracer l'état de la question il y a vingt ans.

2. *On the secretion of Nepenthes distillatoria. Ann. and Magaz. Of Nat. Hist.,* 1848.

du népenthe. La *glaciale* est caractérisée, comme plante, par ses vésicules transparentes recouvrant les feuilles et les tiges, qui la font paraître couverte de glace. Vœlcker n'a pu analyser que qualitativement le liquide de ces vésicules, reconnu incolore, à peu près limpide, sans odeur, insipide, et légèrement acide, dans lequel il a constaté la présence de matières organiques (albumine, acide oxalique, etc.), du chlorure de sodium, de la potasse, de la magnésie et de l'acide sulfurique[1].

Dans une troisième communication faite de même à la Société botanique d'Édimbourg, Vœlcker a déterminé la composition des cendres de l'*Ameria maritima*, recueillie dans différentes localités, en l'accompagnant d'observations sur la distribution géographique de la plante et sur la présence du fluor dans les végétaux[2].

## II. — Plantes agricoles.

### I. — Analyse des produits agricoles.

Dans l'un de ses premiers mémoires sur la composition des plantes de culture[3], Vœlcker exprime ses regrets de voir qu'aussi peu de produits agricoles à cette date aient été l'objet d'analyses organiques auxquelles on puisse se fier. « La plupart de ces analyses, ajoute-t-il, « ont été faites à une époque où la chimie organique était dans l'en- « fance. Les procédés pratiqués alors par les chimistes étaient très « incomplets et par conséquent peu faits pour fournir des résultats « précis. Aussi le besoin d'analyses exactes des matières agricoles se « fait-il vivement sentir, et devient-il nécessaire, en les publiant, de « décrire les méthodes que l'on a suivies pour la détermination des « éléments organiques. La description des méthodes offre du reste « l'avantage d'écarter les résultats obtenus par des procédés impar- « faits et de montrer la voie vers des simplifications utiles. »

1. *On the watery secretion of the leaves and steurs of the Ice plant ; — Ann. and Magaz. of Nat. Hist. for March*, 1860.

2. *On the composition of the ash of Ameria maritima,* etc.

3. *On the composition of green Kye and Rape : Trans. of the Highland and Agric. Soc. of Scotland for July* 1854.

### A. — *Méthodes d'analyse.*

#### FOURRAGES.

Au sujet de la composition du seigle et de la navette à l'état vert, Vœlcker décrit la méthode qu'il a suivie dans les termes suivants :

1° *Dosage de l'eau et des cendres.* — 1000 grains (64gr,773) de la substance à l'état frais sont desséchés d'abord à l'air, puis au-dessus du bain-marie et finalement dans une étuve à air chaud dont la température atteint 104 degrés centigrades.

La perte en poids donne par le calcul la quantité d'eau p. 100.

Deux parties séparées de la substance sèche sont alors incinérées, à une température modérée, dans une capsule de platine, au-dessus d'un bec de gaz.

2° *Dosage de la fibre cellulaire, des composés protéiques insolubles et des sels inorganiques insolubles inhérents à la fibre.* — La séparation de tous les éléments solubles s'opère de la manière suivante :

1000 grains (64gr,773) de la substance à l'état frais sont pesés au même moment où l'on pèse la quantité sur laquelle la teneur en eau doit être déterminée, afin d'éviter les différences en poids dues à la dessiccation atmosphérique. L'échantillon moyen de la substance fraîche soumise à l'analyse doit avoir été prélevé sur un mélange de morceaux ou fragments de 2 à 5 centimètres de longueur, coupés à l'état frais, formant une quantité suffisante pour tous les dosages distincts. Sans cette précaution, il arrive qu'en additionnant les résultats, on obtient un excédent ou un déficit dans le dosage total.

Les 1000 grains de la substance choisie sont réduits en pulpe fine dans un mortier, grâce à l'addition d'une petite quantité d'eau distillée. La mise en pulpe fine d'un fourrage ou de feuilles de plantes est difficile si l'on emploie plus d'eau qu'il n'en faut pour empêcher les projections hors du mortier. Lorsqu'elle a été amenée au degré voulu de finesse, on ajoute 125 à 150 grammes d'eau distillée et on laisse macérer pendant une demi-heure. Le liquide contenant après ce temps la gomme, le sucre, l'albumine soluble et les autres matières solubles est filtré sur de la toile fine préalablement humectée par de l'eau distillée. La fibre cellulaire que retient la toile est exprimée par

torsion aussi complètement que possible, puis remise dans le mortier et pilée de nouveau avec une légère addition d'eau. Après l'avoir laissée séjourner encore une demi-heure avec 125 à 150 grammes d'eau distillée, on la filtre de nouveau comme précédemment. L'opération se renouvelle une troisième fois, et la fibre cellulaire, devenue à peu près blanche et, après lavage, n'abandonnant plus aucune partie soluble, est desséchée au bain-marie et pesée.

Une certaine quantité de la fibre brute ayant été incinérée dans une capsule de platine, on détermine la proportion de matières organiques, insolubles, inhérentes à la fibre. Les cendres se composent principalement de carbonate et de phosphate de chaux, et renferment en outre du sulfate de chaux, de la magnésie et de la silice.

Une autre quantité de la fibre brute en poudre fine et sèche sert au dosage de l'azote, à l'aide de la chaux sodée. Le calcul de l'azote permet de déterminer la teneur en matières protéiques insolubles.

Une troisième quantité de la fibre brute est mise à digérer avec l'alcool et l'éther, pour lui enlever toutes traces de matière grasse.

En déduisant de la fibre épuisée par l'alcool et l'éther le poids constaté de matières protéiques insolubles et de matières inorganiques, on obtient par le calcul la dose de fibre cellulaire pure contenue dans la plante analysée.

3° *Dosage de l'albumine soluble.* — Les liquides provenant du filtrage sur la toile sont portés à l'ébullition et de nombreux flocons verdâtres d'albumine coagulée se séparent. On laisse ces flocons se précipiter par un repos de 24 heures. Après cela, le liquide qui surnage, devenu clair, est filtré sur un filtre pesé qui retient l'albumine. Après lavage de cette albumine à l'eau distillée, et dessiccation à 100 degrés centigrades, on la fait digérer avec de l'alcool et de l'éther, puis sécher au bain-marie jusqu'à ce qu'elle cesse de perdre du poids. La couleur verte est due à de la chlorophylle dont la plus grande partie est enlevée par l'alcool et l'éther.

L'addition de quelques gouttes d'acide acétique dans le liquide filtré indique (s'il n'y a aucun changement) que la caséine fait défaut dans le jus des plantes analysées.

4° *Dosage de la gomme, de la pectine et des sels insolubles dans l'alcool.* — Dans le liquide filtré après séparation par l'ébullition et

le filtrage de l'albumine soluble, se trouvent la gomme, la pectine, le sucre et les sels organiques insolubles que l'on n'a pas jusqu'à présent dosés.

Pour séparer le sucre et les sels solubles dans l'alcool, de la gomme, de la pectine et des sels insolubles dans l'alcool, on évapore le liquide filtré au bain-marie, jusqu'à consistance sirupeuse. Par l'addition de l'alcool dans ce sirop, la pectine, la gomme et quelques sels inorganiques sont précipités. Pour éviter que des traces de sucre restent adhérentes, on continue à faire bouillir avec de l'alcool tant que le précipité abandonne des matières solubles. Le résidu insoluble, recueilli dans une capsule de porcelaine tarée, est desséché au bain-marie et pesé. La proportion de sels inorganiques que renferme ce résidu est déterminée par l'incinération, et en déduisant le poids de la cendre de ceux de la gomme et de la pectine à l'état impur, on obtient la teneur en gomme et en pectine pures. Les sels solubles dans l'alcool consistent principalement en chlorures de sodium et de potassium.

5° *Dosage du sucre.* — Les liquides alcooliques provenant du dosage de la gomme et de la pectine sont distillés dans une cornue, au bain-marie. Le résidu de la cornue, déversé dans une capsule de porcelaine, est évaporé au bain-marie, desséché à 110 degrés centigrades jusqu'à ce qu'il ne perde plus en poids. L'expulsion de l'eau du sirop à la température de 100 degrés se ferait sans cela trop difficilement. Le sucre obtenu renfermant une notable proportion de sels inorganiques solubles dans l'alcool, on l'incinère, et par déduction du poids des cendres de celui du sucre impur, on a la dose de sucre pur.

6° *Dosage des matières grasses.* — Le dosage quantitatif de ces matières s'opère en laissant digérer dans l'éther 100 grains (6$^{gr}$,477) de la substance sèche, réduite en poudre. Les solutions éthérées sont jetées sur un filtre, sur lequel la substance pulvérulente, bouillie à diverses reprises avec l'éther, est lavée méthodiquement à l'éther afin d'enlever toutes traces de graisse adhérente. En distillant à basse température, la plus grande partie de l'éther est récupérée à l'état concentré. Le résidu de la cornue, évaporé jusqu'à siccité, renferme un peu de sucre, dissous avec l'huile par l'eau et l'alcool que ren-

ferme d'ordinaire l'éther du commerce. Pour enlever ce sucre, il faut recourir à l'éther concentré qui l'abandonne à l'état insoluble et retient seulement les huiles et la graisse. Par évaporation, on a les matières grasses que l'on fait dessécher au bain-marie et que l'on pèse soigneusement.

7° *Dosage total des matières protéiques.* — Pour vérifier les dosages directs de l'albumine et des matières protéiques insolubles, on peut procéder à un dosage total des matières protéiques par la combustion avec la chaux sodée, de 1 à 2 grammes de la substance. La quantité d'azote déterminée en suivant la méthode de Will et Varrentrapp, étant multipliée par 6,25 doit concorder avec la proportion trouvée par les dosages directs.

### RACINES.

La méthode d'analyse décrite en 1854 par Vœlcker pour déterminer la composition immédiate du seigle et du colza, varie naturellement d'après les plantes, ou les parties de plantes, autres que celles-ci, soumises aux recherches et d'après les principes immédiats à séparer.

C'est ainsi que dans un mémoire consacré à la composition chimique des panais et de la carotte blanche de Belgique [1], Vœlcker retrace la méthode analytique qu'il a suivie, avec les variations suivantes :

1° *Dosage de l'eau et des cendres.* — Un poids déterminé de racines est desséché d'abord à l'air, puis à une température progressivement plus élevée et finalement au bain-marie, à 100 degrés centigrades. On obtient par le calcul, étant donnée la perte en poids, la teneur en eau pour 100 de racines fraîches.

Pour obtenir un bon échantillon moyen des racines, on les coupe en rondelles très minces que l'on mélange intimement.

La substance desséchée est incinérée dans une capsule de platine à une température très modérée, de crainte de fondre la cendre par suite de la présence d'une forte proportion de sels alcalins qui en-

1. *On the composition of the Parsnip and white Belgian Carrot. — Journ. Roy. Agric. Soc. of England,* vol. XIII, part. II, 1853.

veloppent de matière les parcelles charbonneuses et s'opposent à leur combustion au contact de l'oxygène atmosphérique.

2° *Dosage de la fibre cellulaire, des composés protéiques insolubles et des sels inorganiques insolubles inhérents à la fibre.* — La racine ayant été coupée en deux dans le sens longitudinal, on en réduit la moitié en pulpe fine, en la râpant sur une grattoire à dents serrées. 1000 grains (64gr,773) de cette pulpe sont mis à macérer avec de l'eau distillée à froid, et le liquide renfermant en dissolution la gomme, le sucre, la caséine et les autres matières solubles est filtré sur un linge de toile fine. La fibre impure est traitée comme celle des fourrages, avant de déterminer son poids. Une partie en est de même incinérée pour doser les matières inorganiques insolubles qui sont inhérentes. Une autre partie de la fibre impure pulvérisée et sèche est traitée avec de la chaux sodée dans le tube à combustion, et d'après la proportion pour 100 d'azote constatée, on calcule la teneur en composés protéiques insolubles.

Si l'on déduit le montant de ces composés protéiques et des matières inorganiques de celui obtenu pour la fibre impure, on trouve la proportion pour 100 de fibre cellulaire pure.

3° *Dosage de l'amidon.* — Le liquide laiteux provenant du filtrage de la pulpe des panais sur la toile, mélangé avec les eaux de lavage de la fibre, est abandonné au repos pendant 24 heures. L'amidon qui troublait le liquide s'étant déposé, on le décante avec soin sur un filtre sec et taré qui reçoit l'amidon. Après des lavages soigneux à l'eau distillée, on dessèche l'amidon, d'abord entre du papier à filtre, puis au bain-marie à 100 degrés centigrades et l'on pèse.

Dans le cas des carottes, il n'y a pas d'amidon et le liquide filtré peut être aussitôt chauffé pour le dosage de la caséine.

4° *Dosage de la caséine.* — Les liqueurs, après séparation de l'amidon, sont portées à l'ébullition. Comme il n'y a pas de trouble, l'albumine soluble fait défaut. On ajoute alors quelques gouttes d'acide acétique et un précipité copieux de caséine se forme ; on le laisse déposer pendant 24 heures. Après décantation, on recueille le précipité de caséine sur un filtre taré ; on lave à l'eau distillée jusqu'à épuisement de matière soluble, et l'on sèche à 100 degrés jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de perte de poids.

5° *Dosage de la gomme, de la pectine et des sels insolubles dans l'alcool.* — Ce dosage, appliqué au liquide dont on a séparé la caséine, est pratiqué comme il a été précédemment indiqué pour les fourrages.

6° *Dosage du sucre.* — Le dosage du sucre est une répétition de celui employé pour les fourrages.

7° *Dosage des matières grasses.* — Il en est de même pour le dosage des matières grasses. A moins d'apporter beaucoup de soin à l'extraction de l'huile impure par de l'éther anhydre, ne renfermant pas d'alcool, on est exposé à trouver plus d'huile qu'il n'y en a réellement dans les végétaux. C'est ce qui explique, dans une certaine mesure, les différences qu'offrent les analyses de divers chimistes quant à la teneur en matières grasses des aliments.

8° *Dosage total des matières protéiques.* — C'est un moyen de contrôle, tel qu'il a été décrit pour les racines.

9° *Dosage des sels ammoniacaux.* — Les sels ammoniacaux que renferment les jus de beaucoup de végétaux influent nécessairement sur l'exactitude du calcul des principes immédiats propres à l'alimentation.

Pour les doser, on prend 1,500 grains environ (97 grammes) de racines râpées fin, que l'on laisse macérer dans l'eau distillée, puis on lave sur une toile jusqu'à épuisement de matière soluble. Dans les liquides filtré et de lavage, on précipite immédiatement, par l'acétate basique de plomb, tous les composés protéiques. Le précipité volumineux ainsi formé est lavé avec soin à l'eau distillée sur un filtre, et le liquide filtré, après avoir reçu quelques gouttes d'aoide sulfurique, est évaporé dans une capsule de porcelaine jusqu'à concentration; il est ensuite introduit avec de la chaux sodée dans une cornue reliée avec un appareil renfermant de l'acide chlorhydrique qui est destiné à absorber l'ammoniaque dégagée pendant la distillation. On distille jusqu'à siccité pour qu'il ne reste aucune trace d'ammoniaque. En évaporant au bain-marie, également jusqu'à siccité, le contenu du récipient à acide chlorhydrique après addition de bichlorure de platine, on obtient le précipité de bichlorure de platine et d'ammonium que l'on lave sur un filtre taré, avec un mélange d'alcool et d'éther qui enlève l'excès de bichlorure de platine préalablement ajouté. On pèse enfin le filtre desséché à 100 degrés contenant le sel

double insoluble de platine et d'ammoniaque, pour calculer l'ammoniaque.

Le même procédé d'analyse des racines est décrit avec quelques variantes dans un mémoire subséquent sur la composition des betteraves-globe (*mangolds*), racines et feuilles[1], auquel nous emprunterons ce qui a trait au dosage du sucre.

*Dosage du sucre.* — « Le liquide obtenu par la digestion de la betterave-globe dans l'eau, après l'avoir filtrée sur le linge, est évaporé jusqu'à consistance sirupeuse en mélange avec de la levûre lavée. Le sirop entrant en fermentation, le sucre y est transformé en alcool et en acide carbonique.

« Comme l'équivalent de sucre fournit exactement 2 équivalents d'alcool anhydre et 4 équivalents d'acide carbonique, la quantité d'alcool ou d'acide carbonique obtenue par la fermentation d'une liqueur sucrée sert de base au calcul du sucre pour 100 qu'elle contient.

« Si la fermentation est soigneusement conduite, dans un appareil convenable, le résultat du calcul est très exact. »

Pourtant, dans ses recherches ultérieures sur la composition des betteraves à sucre[2], Voelcker a remplacé le procédé de dosage du sucre à l'aide de la fermentation, par celui de la liqueur cupro-potassique titrée, tel qu'il est décrit dans les traités d'analyse[3].

### B. — *Dosage de l'eau et des matières azotées.*

La quantité d'eau dans les produits végétaux varie considérablement selon les conditions dans lesquelles ils ont été obtenus.

Tandis que dans les navets de Suède, par exemple, la teneur en eau varie entre 86 et 91 p. 100, elle varie dans les turneps entre 87 et 94, et dans les betteraves (*mangolds*) entre 85 et 90 p. 100. Il en résulte que le chimiste ayant analysé des navets de Suède qui titrent 91 p. 100 d'eau et des turneps titrant seulement 88, s'il ne

1. *Composition of orange globe mangolds, bulbs and tops.* Juillet 1865.

2. *On the chemistry of Silesian sugar beets.* 1869.

3. Voir le *Traité d'analyse des matières agricoles,* par L. Grandeau : Méthode chimique de dosage du sucre, p. 325. Paris, 1877.

tient pas compte de la fluctuation qui existe pour les deux racines dans la teneur en eau et en matières solides, conclurait naturellement que le turneps est plus nutritif que le navet de Suède; or le fermier serait arrivé à la même conclusion en ne regardant que le résultat comparatif de deux récoltes. Mais des faits isolés ne font pas la règle et il faut se défier de généraliser d'après des observations isolées[1].

Pour les fourrages verts notamment, le dosage de l'eau et des autres éléments est susceptible de grandes variations, suivant les chimistes. Vœlcker cite à ce propos les différences obtenues par Way, par Anderson et par lui-même dans l'analyse des mêmes variétés de trèfle, de luzerne et de sainfoin; elles sont consignées dans le tableau XX.

TABLEAU XX. — Écarts dans le dosage de l'eau et des matières azotées.

| | EAU POUR 100 à l'état naturel. | | MATIÈRES AZOTÉES assimilables à l'état sec. | |
|---|---|---|---|---|
| | Maximum. | Minimum. | Maximum. | Minimum. |
| Trèfle rouge (*Trifolium pratense*). . . . | 85.30<br>Anderson. | 79.98<br>Anderson. | 22.194<br>Way. | 12.46<br>Anderson. |
| Trèfle intermédiaire (*Trifolium medium*). | 81.76<br>Anderson. | 74.10<br>Way. | 20.968<br>Way. | 10.19<br>Anderson. |
| Trèfle blanc (*Trifolium repens*). . . . . | 83.65<br>Vœlcker. | 79.71<br>Way. | 27.31<br>Vœlcker. | 18.45<br>Way. |
| Luzerne (*Medicago sativa*) . . . . . . | 80.13<br>Anderson. | 69.95<br>Way. | 16.56<br>Vœlcker. | 12.56<br>Way. |
| Sainfoin (*Onobrichis sativa*). . . . . . | 77.32<br>Vœlcker. | 76.61<br>Way. | 18.17<br>Way. | 15.50<br>Vœlcker. |

C'est par des moyennes seulement, basées sur de nombreux dosages du même produit, et après avoir écarté les données extrêmes ou anormales, que l'on obtient des indications utiles et pratiques pour le cultivateur. Ainsi, pour la teneur moyenne en eau des diverses variétés de trèfle frais, comme l'indique le tableau XX, Way

1. *On the composition of the yellow Lupine*, Décembre 1860.

trouve 78.25 et Vœlker 78.65 ; c'est une concordance suffisante ; de même pour les matières assimilables azotées dans le trèfle sec, Way trouve 19.31 p. 100 et Vœlcker 19.44, ce qui s'accorde également ; mais ces mêmes données varient beaucoup par rapport à celles fournies par Anderson. C'est qu'en effet, pour le trèfle comme pour les autres plantes, la composition ne dépend pas seulement de la variété, mais du sol, du mode de culture et de récolte, et des circonstances climatériques.

C. — *Dosage des cendres.*

Le fait que les matières minérales formant les cendres d'un végétal ne sont pas accidentelles, mais essentielles, c'est-à-dire que si elles ne se rencontrent pas dans le sol, la plante ne peut pas croître, ni atteindre sa parfaite croissance, a exercé une influence toute-puissante sur les progrès de l'agriculture moderne. Les analyses des cendres des plantes sont donc de la plus grande utilité, bien qu'elles ne réalisent point tout ce que l'on pensait en tirer, car elles ne suffisent pas pour déterminer, même avec quelques chances de certitude, quels éléments fertilisants ou quels mélanges d'engrais il faut appliquer aux diverses récoltes afin d'obtenir les meilleurs rendements.

La composition des cendres n'en est pas moins un guide pour reconnaître que les récoltes seront chétives ou médiocres, quand le sol est dépourvu, ou faiblement pourvu, d'un ou de plusieurs éléments constitutifs des cendres. Ainsi, il est certain que si l'acide phosphorique, la potasse ou la chaux font défaut dans une terre cultivée en turneps, par exemple, la récolte sera médiocre, ou bien les racines deviendront maladives, quoique les autres matières organiques ou minérales y soient présentes en abondance. De même, un sol auquel manquerait la silice ou l'acide phosphorique ne pourrait pas subvenir aux besoins immédiats d'une récolte de froment.

## 2. Plantes alimentaires.

### A. — *Céréales.*

Vœlcker admet, pour fixer la valeur nutritive moyenne du blé, de l'avoine, de l'orge et du maïs consommés usuellement en Angleterre dans l'alimentation, la composition centésimale suivante [1] :

**TABLEAU XXI. — Composition type du grain des céréales.**

| | BLÉ. | AVOINE. | ORGE. | MAÏS. |
|---|---|---|---|---|
| Eau | 12.26 | 13.09 | 14.65 | 14.96 |
| Principes protéiques assimilables | 11.64 | 11.85 | 10.84 | 11.27 |
| Principes combustibles, amidon et graisse | 68.74 | 63.34 | 68.31 | 67.48 |
| Fibre ligneuse non digestible | 2.61 | 9.00 | 3.45 | 5.02 |
| Substances inorganiques (cendres) | 1.75 | 2.72 | 2.75 | 1.27 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

Tout en faisant remarquer que le blé et l'orge ne contiennent qu'une faible proportion de matières grasses (2 p. 100 environ), tandis que l'avoine en contient 6 p. 100 en moyenne, et le maïs de 8 à 9 p. 100, il signale l'analogie dans la composition des quatre céréales sous le rapport des principes combustibles. Il ajoute que si la fibre ligneuse ne varie guère, comme quantité, dans les diverses variétés de blé, elle offre des différences notables pour l'orge, et surtout pour l'avoine.

La nécessité pour l'agriculteur de connaître l'emprunt fait par les diverses récoltes au sol, sous le point de vue des matières minérales, eu égard aux quantités de ces mêmes matières que prélève une bonne récolte de froment, donne un intérêt spécial au calcul basé sur la composition des cendres du grain et de la paille de froment.

1. *On the chemistry of food. — Bath and West of England Agric. journ.*, vol. IV, 1856.

Vœlcker, à diverses reprises[1], établit cette composition d'après les chiffres suivants d'analyse :

**Composition des cendres du grain et de la paille de froment.**

| | Grain. | Paille. |
|---|---|---|
| Acide phosphorique | 50.0 | 5.0 |
| Acide sulfurique | 0.5 | 2.7 |
| Silice | 2.5 | 67.0 |
| Chaux | 3.5 | 5.5 |
| Magnésie | 11.5 | 2.0 |
| Potasse | 30.0 | 13.0 |
| Soude / Chlorures de potassium et de sodium | 2.0 | 4.8 |
| | 100.0 | 100.0 |

Si l'on prend pour exemple un rendement moyen à l'hectare de 28,74 hectolitres pesant 74kgr,85 l'hectolitre, on trouve pour le produit en grain d'un hectare : 2 152 kilogr., et en évaluant le poids de la paille au double de celui du gain : 4304 kilogr. de paille. Le grain de blé renfermant en moyenne 1.7 p. 100 de matières minérales et la paille 5 p. 100, le calcul donne à l'hectare:

| | |
|---|---|
| Pour 2152 kilogr. de grain | 36kgr,42 |
| Pour 4304 kilogr. de paille | 215 ,21 |
| Total | 251kgr,63 |

qui se répartissent de la manière suivante, conformément à la composition des cendres :

| | GRAIN. | PAILLE. | TOTAL. |
|---|---|---|---|
| Acide phosphorique | 18kgr,214 | 10kgr,650 | 28kgr,864 |
| Acide sulfurique | 0 ,280 | 5 ,884 | 6 ,164 |
| Silice | 1 ,120 | 144 ,314 | 145 ,434 |
| Chaux | 1 ,120 | 11 ,768 | 12 ,888 |
| Magnésie | 4 ,202 | 4 ,202 | 8 ,404 |
| Potasse | 10 ,928 | 28 ,022 | 38 ,950 |
| Soude / Chorures de potassium et de sodium | 0 ,560 | 10 ,368 | 10 ,928 |
| | 36kgr,424 | 215kgr,208 | 251kgr,632 |

1. *The absorption of phosphate of lime and phosphatic manures for root crops;* 1863. — *Clover as a preparatory crop for wheat.* 1868.

*Avoines blanche et noire.* — Deux variétés d'avoine sont vendues couramment sur le marché anglais, l'avoine blanche et l'avoine noire. La première, de qualité supérieure, surtout quand elle vient d'Écosse, se cote toujours à un prix plus élevé, sans que l'on se soit rendu compte de l'écart entre la valeur nutritive des deux avoines, de façon à savoir s'il est réellement plus économique d'acheter de l'avoine blanche écossaise à un plus haut prix, que de l'avoine noire anglaise à un prix plus bas.

Une des premières conditions qui influent sur la mercuriale du blé, de l'orge et des autres graines de céréales, c'est le rapport entre la farine et le son, dans les échantillons fournis au meunier. Or, dans les avoines, ce rapport varie peut-être plus que dans tout autre grain. Certaines avoines rendent jusqu'à trois quarts de leur poids en farine, et d'autres, seulement moitié. Vœlcker a donc commencé par déterminer la proportion de farine et de son dans les deux avoines d'Écosse et d'Angleterre[1] :

| | AVOINE | |
|---|---|---|
| | blanche d'Écosse. | noire d'Angleterre. |
| | — | — |
| Farine | 71.5 | 66.25 |
| Son | 28.5 | 33.75 |
| | 100.0 | 100.00 |

Ainsi, 100 kilogr. d'avoine écossaise rendent à la mouture 5$^{kgr}$,5 de farine en plus que 100 kilogr. d'avoine anglaise, ce qui est déjà à l'avantage de la première variété ; mais l'avoine se vend à la mesure et non au poids ; et comme le poids d'un hectolitre varie considérablement suivant la provenance, il devient nécessaire de calculer le rapport sur base des volumes respectifs.

Dans le cas actuellement examiné par Vœlcker, l'hectolitre d'avoine blanche d'Écosse pesait 52$^{kgr}$,35 et se vendait à Cirencester au prix de 6 fr. 88 c., tandis que l'hectolitre d'avoine noire d'Angleterre pesant 46$^{kgr}$,75, se cotait, également à Cirencester, à 5 fr. 35 c.; de façon que pour une dépense de 100 fr., d'après la proportion de farine p. 100, on obtenait avec l'avoine noire 30 kilogr. de farine de

1. *The comparative value of white Scottish oats and Black English oats. — Journ. of Agric. and Transactions of the Highland Agric. Soc. of Scotland*, Janvier 1853.

plus qu'avec l'avoine blanche ; soit une économie d'environ 60 centimes par hectolitre, en admettant que les deux farines eussent la même valeur nutritive. Or, le dosage de l'azote correspondant aux matières protéiques qui règlent la valeur nutritive, indique dans la farine séchée à 100 degrés centigrades :

| | POUR 100. | |
|---|---|---|
| | Azote. | Matières protéiques. |
| Pour l'avoine blanche d'Écosse . . . . . . | 2.59 | 14.74 |
| — noire d'Angleterre. . . . . . | 2.23 | 13.94 |

La farine de l'avoine blanche ayant par conséquent une valeur nutritive supérieure, l'économie réalisée en argent par l'achat de l'avoine noire disparaît ; il est préférable au contraire d'acheter l'avoine blanche à un prix plus élevé. Ces observations ne s'appliquent évidemment qu'aux échantillons soumis à l'analyse.

### B. — *Paille des céréales.*

Les analyses de cendres des pailles des principales céréales ne font pas défaut, mais la composition même de ces pailles a été déterminée en limitant le plus souvent le dosage à l'eau, aux matières azotées et non azotées et aux matières minérales. Aussi peu détaillée, la composition laisse à désirer au point de vue de l'alimentation pratique. En outre, il arrive que dans la plupart des analyses publiées, on s'est borné à doser l'eau, les cendres, les substances albuminoïdes, et à calculer le reste par voie de différence. Il en résulte que l'huile, le sucre et les autres matières solubles sont groupés avec la fibre ligneuse pour constituer le groupe des principes alimentaires combustibles, tandis qu'une partie seulement de ces principes sont effectivement assimilables.

Vœlcker a repris en conséquence l'analyse de la paille du froment et du chanvre, des pailles d'orge et d'avoine à l'état vert, de bonne maturité et de maturité avancée. Les résultats de ces analyses sont consignés dans un même tableau (tabl. XXII) et donnent lieu aux observations suivantes[1] :

1. *Composition and nutritive value of Straw.* — *Journ. Roy. Agr. Soc. of England.* Déc. 1861.

**TABLEAU XXII. — Composition de la paille des céréales.**

| | FROMENT. | | | | ORGE. | | AVOINE. | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | PAILLE. | | | CHAUME naturel. | PAILLE. | | PAILLE à l'état vert. | | | PAILLE MÛRE. | | | PAILLE TROP MÛRE. | | |
| | Maturité moyenne. 1. | Bonne maturité. 2. | Maturité avancée. 3. | 4. | Bonne maturité. 5. | Maturité avancée. 6. | État naturel. 7. | Réduite à 16 p. 100 d'eau. 8. | Calculée à l'état sec. 9. | État naturel. 10. | Réduite à 16 p. 100 d'eau. 11. | Calculée à l'état sec. 12. | État naturel. 13. | Réduite à 16 p. 100 d'eau. 14. | Calculée à l'état sec. 15. |
| *Composition élémentaire.* | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eau | 13.33 | 8.14 | 9.17 | 17.66 | 17.50 | 15.20 | 77.14 | 16.00 | » | 16.64 | 16.00 | » | 35.20 | 16.00 | » |
| Matières organiques solubles | 5.54 | 8.77 | 4.81 | 5.83 | 12.40 | 2.92 | 6.29 | 23.12 | 27.52 | 9.06 | 11.25 | 16.97 | 4.42 | 5.72 | 6.82 |
| — inorganiques solubles | 1.13 | | | | | 2.88 | 1.59 | 5.81 | 6.95 | 2.30 | 3.63 | 4.32 | 1.75 | 2.27 | 2.71 |
| — organiques insolubles | 76.92 | 83.09 | 86.02 | 76.51 | 70.10 | 77.62 | 14.72 | 54.09 | 61.39 | 40.28 | 63.41 | 75.48 | 55.48 | 71.92 | 85.61 |
| — inorganiques insolubles | 3.08 | | | | | 1.38 | 0.26 | 0.95 | 1.11 | 1.72 | 2.71 | 3.23 | 3.15 | 4.09 | 4.86 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| *Composition immédiate.* | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eau | 13.33 | 8.11 | 9.17 | 17.66 | 17.50 | 15.20 | 77.14 | 16.00 | » | 46.64 | 16.00 | » | 35.20 | 16.00 | » |
| Huile | 1.71 | 1.10 | 0.65 | 0.42 | 1.17 | 1.36 | 0.43 | 1.57 | 1.88 | 0.67 | 1.05 | 1.25 | 0.97 | 1.25 | 1.49 |
| Albumine [1] | 1.28 | » | » | 2.94 | 5.57 | 0.68 | 1.50 | 5.51 | 6.56 | 1.67 | 2.62 | 3.13 | 1.00 | 1.29 | 1.51 |
| Matières protéiques solubles [1] | | 0.50 | 0.06 | | | | | | | | | | | | |
| Sucre, gomme, mucilage | 4.26 | 6.28 | 3.46 | » | 71.41 | 2.21 | 4.36 | 16.01 | 19.08 | 6.72 | 10.57 | 12.59 | 2.45 | 3.19 | 3.79 |
| Matières extractives solubles | | | | 5.01 | | | | | | | | | | | |
| Fibre digestible | 19.40 | 79.31 | 82.26 | 71.01 | .... | 5.97 | 7.17 | 26.31 | 31.36 | 19.17 | 30.17 | 35.94 | 21.41 | 27.75 | 33.04 |
| — ligneuse | 54.13 | | | | | 66.51 | 6.76 | 21.86 | 29.57 | 20.18 | 31.78 | 37.81 | 32.26 | 41.82 | 49.78 |
| Matières inorganiques solubles | 1.13 | 1.99 | 1.29 | » | » | 2.88 | 1.57 | 5.76 | 6.38 | 2.30 | 3.61 | 4.32 | 1.75 | 2.26 | 2.71 |
| — protéiques insolubles [2] | 1.65 | 1.62 | 2.06 | » | » | 3.75 | 0.81 | 2.98 | 3.51 | 0.93 | 1.46 | 1.71 | 1.81 | 2.36 | 2.79 |
| — inorganiques insolubles | 3.08 | 1.06 | 1.05 | 2.93 | 4.52 | 1.38 | 0.26 | 0.94 | 1.13 | 1.72 | 2.71 | 3.22 | 3.15 | 4.08 | 4.86 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Contenant azote [1] | 0.206 | 0.08 | 0.01 | 0.47 | 0.86 | 0.11 | 0.21 | 0.88 | 1.05 | 0.26 | 0.40 | 0.48 | 0.16 | 0.20 | 0.21 |
| — azote [2] | 0.261 | 0.26 | 0.33 | » | | 0.60 | 0.13 | 0.47 | 0.57 | 0.15 | 0.23 | 0.28 | 0.29 | 0.36 | 0.41 |
| *Azote* (total) | 0.470 | 0.31 | 0.31 | » | » | 0.71 | 0.37 | 1.35 | 1.62 | 0.41 | 0.63 | 0.76 | 0.45 | 0.56 | 0.68 |
| Égal à matières protéiques | 2.93 | 2.12 | 2.12 | » | » | 4.43 | » | 8.49 | 10.10 | » | 4.08 | 1.87 | » | 3.65 | 4.33 |
| *Cendres* (total) | 4.21 | 3.05 | 2.31 | » | » | 4.26 | 1.85 | 6.79 | 7.09 | 4.02 | 6.34 | 7.55 | 4.90 | 6.36 | 7.57 |

*Paille de froment.* — Quelque dure et quelque sèche que paraisse la paille de maturité moyenne, on reconnaît par l'analyse qu'elle abandonne plus de 5.5 p. 100 de matières organiques à l'eau froide et à l'eau bouillante.

La partie insoluble dans l'eau et qui constitue la fibre ligneuse crue s'élève à 80 p. 100; mais par le traitement à la potasse caustique diluée, et ensuite à l'acide sulfurique dilué, 20 p. 100 de cette fibre sont rendus solubles. Cette partie soluble figure comme fibre digestible. L'autre partie de matières ligneuses qui, après la séparation des composés albumineux insolubles, des substances minérales, de l'huile et de la fibre digestive, représente environ 54 p. 100, peut aussi bien être assimilée, dans une certaine mesure, par l'organisme animal. Il n'en est pas moins digne de remarque que la paille, traitée par l'eau et de faibles liqueurs alcalines et acides, abandonne la moitié de son poids en dissolution.

L'huile que renferme la paille de froment est jaune, de bon goût; elle la rend plus agréable au goût, sans doute plus digestible, et certainement plus nourrissante. Dans l'échantillon analysé, la proportion de 1 $^{3}/_{4}$ p. 100 d'huile représente 17$^{kgr}$,50 environ par tonne de paille.

Des composés albuminoïdes, qui représentent en nombre rond 3 p. 100, un peu plus de la moitié est insoluble; le reste est soluble dans l'eau.

Le degré de maturité de la paille influe beaucoup sur sa composition; c'est ce que démontrent les deux analyses n$^{os}$ 2 et 3 (tableau XXII) de pailles récoltées en bonne maturité et avec excès de maturité. La proportion de sucre, de gomme et de matières extractives et celle de l'huile diminuent par la maturité, tandis que la matière fibreuse augmente notablement. Le rapport entre les composés albuminoïdes solubles et insolubles, des pailles n$^{os}$ 1 et 3, varie sensiblement au détriment de la valeur nutritive de la paille trop mûre. Enfin la proportion de cendres dans les pailles 2 et 3 s'est beaucoup abaissée.

La moyenne de 10 analyses de cendres de la paille de froment, obtenue par Way et Ogston, est représentée par les chiffres suivants :

**Composition moyenne des cendres de la paille de froment.**

| | |
|---|---|
| Potasse | 12.11 |
| Soude | 0.60 |
| Magnésie | 2.74 |
| Chaux | 6.23 |
| Acide phosphorique | 5.43 |
| — sulfurique | 3.88 |
| Silice | 67.88 |
| Peroxyde de fer | 0.74 |
| Chlorure de sodium | 0.22 |
| | 99.86 |

En dehors de la teneur élevée en silice, la proportion d'acide phosphorique et de potasse y est minime. Du reste, la teneur p. 100 en cendres peut varier entre 4.5 et 2.5, sans que la résistance de la paille semble dépendre du manque de matières minérales. Vœlcker ajoute à ce propos qu'il n'a point constaté un seul résultat de l'application du silicate de soude qui ait eu pour effet d'accroître la récolte ou de donner plus de consistance à la paille des céréales.

L'analyse n° 4 d'un chaume de froment récolté sur les terrains de la ferme de Cirencester par un temps sec, vers la mi-décembre, indique que le chaume dont la composition est analogue à celle de la paille, surtout sous le rapport des matières azotées, renferme moins d'huile, mais offre à tous égards la même valeur que la paille comme litière et comme engrais.

*Paille d'orge.* — L'orge, destinée au maltage, mûrit généralement plus longtemps en terre que les autres céréales; c'est pourquoi sa paille est moins nourrissante que si elle avait été coupée plus tôt. La preuve en est fournie par les deux analyses sous les nos 5 et 6 (tableau XXII).

Dans l'analyse 5 d'une paille qui n'est pas trop mûre, on constate la présence de 12.5 p. 100 de matières solubles dans l'eau, renfermant beaucoup de sucre, qui expliquent la solubilité et sans doute la digestibilité de cette paille par rapport à celle analysée sous le n° 4 et recueillie à l'état de maturité avancée. Dans celle-ci, on trouve, comme pour la paille de froment, une dose appréciable d'huile, une proportion très faible de sucre, de gomme et de matières extracti-

ves; et une teneur très élevée en fibre ligneuse non digestible, par rapport à celle du froment. La fibre brute insoluble dans l'eau, cède beaucoup moins de parties solubles aux solutions diluées de potasse et d'acide sulfurique que la paille de froment : 6 p. 100 au lieu de 20 p. 100 ; cette différence étant due plutôt à l'état de maturité qu'à une constitution plus résistante de la paille d'orge. Enfin, la teneur en principes assimilables de l'échantillon n° 6 est plus élevée que celle des échantillons de paille de froment.

Vœlcker conclut de ces analyses que la paille d'orge, à l'état normal de maturité, est supérieure à celle du froment, plus riche en composés albuminoïdes, et plus appropriée, à cause de sa teneur en matières azotées et de sa texture, à la nourriture des jeunes animaux.

La moyenne des analyses de cendres variant entre 4 et 5 p. 100 sur trois échantillons de pailles d'orge, lui a donné la composition suivante :

**Composition moyenne des cendres de la paille d'orge.**

| | |
|---|---|
| Potasse | 18.40 |
| Soude | 0.68 |
| Magnésie | 4.13 |
| Chaux | 8.08 |
| Acide phosphorique | 3.26 |
| — sulfurique | 2.13 |
| Silice | 54.56 |
| Peroxyde de fer | 1.81 |
| Chlorure de sodium | 6.95 |
| | 100.00 |

*Paille d'avoine.* — Les propriétés nutritives de la paille des céréales se modifiant sensiblement, comme on l'a fait voir, suivant l'état de maturité et le moment de la moisson, Vœlcker s'est attaché à établir la composition de la paille d'avoine récoltée à l'état encore vert, à l'état de maturité normale, et à un état avancé de maturité ; les trois échantillons compris sous les nos 7, 10 et 13 du tableau XXII correspondent à ces trois états de maturité.

Malgré la grande quantité d'eau contenue dans la paille verte, on doit noter une forte proportion de sucre et de matières solubles

dans l'eau. En outre, les matières albuminoïdes y sont presque aussi importantes que dans la paille mûre n° 10, tenant 14 p. 100 d'eau seulement.

La paille analysée sous le n° 13, récoltée dans un état avancé de maturité, c'est-à-dire un mois plus tard que la précédente, dans la même pièce, renferme encore un peu plus d'un tiers de son poids d'eau.

Pour pouvoir comparer utilement les trois pailles, avec un minimum d'eau correspondant à leur mise en meule, après un certain temps, soit 16 p. 100 en moyenne, Vœlcker a calculé leur composition d'après cette teneur moyenne et aussi, en ramenant les pailles à l'état de siccité (100° centigrades). Les compositions ainsi établies figurent en regard de celles des pailles à l'état naturel. On en déduit les remarques suivantes :

1. En premier lieu, la forte proportion de matières albuminoïdes dans la paille verte, égale à celle du foin de prairie, explique son efficacité pour refaire les muscles des bœufs et des chevaux de travail. Les animaux, surtout les chevaux, s'en délectent, à cause de la vigueur qu'elle leur rend et de l'état succulent, agréable au goût, sous lequel elle se présente.

2. Les matières albuminoïdes ou protéiques ne sont pas seulement en plus forte proportion dans la paille verte, mais étant solubles dans l'eau, elles se laissent plus facilement digérer.

3. Par l'effet de la maturité, les matières albuminoïdes, solubles et insolubles, se réduisent, comme les matières azotées, de près de moitié. Que deviennent particulièrement les matières azotées qui disparaissent si rapidement au moment de la maturité des céréales? Sans avoir fait des expériences spéciales à ce sujet, Vœlcker est porté à croire qu'elles ne sont point emmagasinées par le grain, mais dispersées à l'état d'azote, suivant ce que MM. Lawes et Gilbert ont observé, pendant la croissance des céréales.

4. La composition de la paille trop mûre confirme cette diminution d'azote, ainsi qu'une augmentation des composés protéiques insolubles par rapport aux composés solubles, à l'encontre de ce que les deux pailles de maturité moins avancée permettent de constater.

De telle sorte que la paille trop mûre n'est pas seulement moins riche en substances albuminoïdes, mais celles qu'elle renferme s'y trouvent à un état moins soluble et sont, par conséquent, moins digestibles.

5. Les proportions d'huile varient peu dans les trois pailles.

6. Le sucre, la gomme et les autres matières solubles dans l'eau, qui atteignent 16 p. 100 dans la paille verte, se réduisent à 3 p. 100 dans la paille trop mûre, et tombent à 10.5 p. 100 dans la paille mûre ; ce qui indique que plus la paille reste en terre, plus ces matières qui, avec l'huile, constituent les principes alimentaires essentiels, diminuent au détriment de la valeur nutritive. La détérioration de la paille des céréales dans la saison chaude, se fait si rapidement que les résultats varient si l'on avance ou si l'on retarde d'une semaine la moisson. C'est un fait avéré pour Vœlcker que lorsque les tiges de l'avoine commencent à jaunir sur les deux tiers de la hauteur, l'épi étant encore vert, le temps est venu de moissonner, en vue d'obtenir le maximum de grain et une paille plus succulente.

7. Les analyses mettent hors de doute que la période de maturité approchant, la fibre ligneuse non digestible augmente ; il s'ensuit qu'il y a tout intérêt pour l'éleveur à prévenir la conversion du sucre en fibre en coupant l'avoine de bonne heure.

8. L'action des liqueurs diluées de potasse et d'acide sulfurique est plus marquée sur la paille d'avoine que sur celle de froment : ce qui justifie la préférence accordée généralement à la première comme fourrage.

9. Si la quantité des matières minérales ne varie pas sensiblement dans les diverses qualités de paille, elles offrent des différences qualitatives centésimales importantes, qu'indiquent les résultats suivants :

| CENDRES. | PAILLE D'AVOINE | | |
|---|---|---|---|
| | verte. | mûre. | trop mûre. |
| — | — | — | — |
| Matières minérales solubles p. 100 . . . | 6 | 3.6 | 2.2 |
| — — insolubles p. 100. . . | 1 | 2.7 | 4.0 |

La composition des cendres de la paille d'avoine révèle, comme pour les autres céréales, la présence d'une forte proportion de silice et d'un taux relativement faible d'acide phosphorique.

**Composition moyenne des cendres de la paille d'avoine.**

| | |
|---|---|
| Potasse | 19.14 |
| Soude | 9.69 |
| Magnésie | 3.78 |
| Chaux | 8.07 |
| Acide phosphorique | 2.56 |
| — sulfurique | 3.26 |
| Silice | 48.42 |
| Peroxyde de fer | 1.83 |
| Chlorure de sodium | 3.25 |
| | 100.00 |

C. — *Paille fermentée (fourrage).*

L'utilisation de la paille des céréales fermentée, en mélange avec des fourrages verts ou ensilés, dans le but de subvenir à la nourriture des animaux pendant l'hiver, offre un grand intérêt pour l'agriculture.

M. Samuel Jonas, de Saffron Walden, a décrit un procédé consistant dans l'addition d'une petite quantité de seigle vert ou de vesces, coupés en vert pour faire fermenter la paille hachée[1]. C'est ce procédé, appliqué pendant des années avec succès, que Vœlcker a examiné analytiquement[2].

La paille étant débitée à l'aide d'une machine à vapeur qui active le hache-paille, est tassée fortement dans le grenier, en y mélangeant, au fur et à mesure, environ 125 kilogr. par tonne de seigle ou de vesces, également coupés à l'état vert, et 30 kilogr. de sel marin. L'opération se fait en été, et le produit n'est utilisé, à partir d'octobre, que dans les mois d'hiver.

L'addition de fourrages verts fait que la paille s'échauffe; elle s'imprègne des principes volatils et odoriférants et se transforme lentement, au point de vue de la fibre ligneuse, en une nourriture saine et aromatique, dont la valeur nutritive est supérieure à celle de la paille non fermentée.

1. *Journ. Roy. Agric. Soc. of England*, vol. VI. 1870.
2. *Straw Chaff for feeding purposes*. Janvier 1871.

Les analyses de la paille de blé, avant et après fermentation, sont reproduites dans le tableau XXIII, en regard de la composition du foin ordinaire de prairie.

TABLEAU XXIII. — Composition de la paille de froment fermentée et à l'état naturel.

| | PAILLE DE FROMENT | | FOIN |
|---|---|---|---|
| | à l'état naturel. | hachée et fermentée. | de prairie. ordinaire. |
| Eau. . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 13.33 | 7.76 | 14.61 |
| Huile et matière grasse. . . . . . . . . . . | 1.74 | 1.60 | 2.56 |
| Composés albuminoïdes (assimilables)[1]. . . . . | 2.93 | 4.19 | 8.44 |
| Sucre, gomme et composés solubles dans l'eau. . | 4.26 | 10.16 | 41.07 |
| Fibre digestible. . . . . . . . . . . . . . | 19.40 | 35.74 | » |
| — ligneuse (cellulose). . . . . . . . . | 54.13 | 34.54 | 27.16 |
| Matières minérales insolubles (silice). . . . . | 3.08 | 3.20 | 6.16 |
| Matières minérales solubles. . . . . . . . . | 1.13 | 2.81 | |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Contenant azote[1] . . . . . . . . . . . . . | 0.47 | 0.67 | 1.35 |

Ces analyses donnent lieu aux remarques suivantes :

Quoique l'huile soit à peu près en égale proportion dans les deux pailles, les matières organiques solubles, telles que le sucre, la gomme, etc., y sont en proportion de plus du double. Cette augmentation du sucre et des autres composés solubles est due sans doute, en partie, au fourrage vert incorporé, mais en partie aussi, à l'action de la chaleur qui a eu pour effet d'accroître la solubilité de la paille dans l'eau. La paille fermentée renferme en outre plus de 4 p. 100 de composés albuminoïdes, tandis que la paille naturelle en contient à peine 3 p. 100. Enfin le rapport entre la fibre digestible et la fibre ligneuse ou cellulose est de beaucoup à l'avantage de la paille fermentée.

La paille, on le sait, quand elle est trop mûre, est peu goûtée par le bétail et les moutons, à cause de son peu de saveur et de sa du-

reté. Certains agriculteurs y ajoutent de la mélasse étendue d'eau, ce qui est un moyen dispendieux pour la faire consommer par les animaux. Le procédé Jonas est de beaucoup préférable et plus économique ; on ne peut que recommander une pratique aussi simple et aussi efficace.

Bien que semblable comme goût et comme odeur au foin ordinaire, la paille fermentée en diffère notablement comme valeur nutritive. Aussi, pour l'égaliser sous ce rapport, Vœlcker conseille-t-il d'y ajouter une certaine quantité de tourteau qui apporte les matières albuminoïdes faisant défaut. L'addition de 50 kilogr. de tourteau de coton décortiqué, réduit en farine, à 1000 kilogr. de paille fermentée telle que celle dont la composition est donnée, suffirait pour obtenir une nourriture de même valeur que le foin.

D. — *Millet, sorgho et dari.*

Dans les rapports annuels sur les analyses faites pour le compte de la Société Royale d'agriculture, Vœlcker a consigné la composition des graines de millet, de sorgho et de dari. Les analyses de ces graines figurent dans le tableau XXIV ci-après.

Des deux échantillons de millet analysés, l'un était écrasé et l'autre en grains entiers, n$^{os}$ 1 et 2 [1].

Il y a lieu de remarquer, comme pour le sorgho, que le millet riche en amidon est pauvre en composés albuminoïdes et azotés. Il est mieux approprié, à cause de cela, comme nourriture d'engrais, pour les bœufs et la volaille. Le maïs et l'avoine conviennent bien mieux aux chevaux de travail, et la valeur nutritive du millet, de même que son prix sur le marché, poids pour poids, peuvent s'évaluer à 25 p. 100 au-dessous de ceux de l'avoine de bonne qualité. En mélangeant le millet avec de la farine de fèves qui renferme de 24 à 26 p. 100 de matières albuminoïdes, on obtient une ration plus complète et plus satisfaisante.

Le grain de sorgho [2] est souvent introduit à bon compte sur le

1. *Annual Report for* 1882. — *Journ. Roy. Agric. Soc.,* 1883.
2. *Annual Report for* 1875. — *Journ. Roy. Agric. Soc.*, 1876.

marché anglais, ainsi que le grain d'une variété (*Andropogon sorghum*) connue sous le nom de dari ou durra[1], importé d'Égypte pour l'engraissement des animaux.

TABLEAU XXIV. — Composition du grain de millet, de sorgho et de dari.

| COMPOSITION IMMÉDIATE. | MILLET | | SORGHO | | DARI | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | écrasé. 1. | en grains. 2. | 1re variété. 3. | 2e variété. 4. | 1re variété. 5. | 2e variété. 6. |
| Eau | 12.85 | 13.19 | 12.32 | 12.02 | 11.31 | 12.55 |
| Huile | 3.91 | 3.83 | 2.37 | 3.80 | 4.02 | 2.93 |
| Composés albuminoïdes[1] | 11.25 | 9.56 | 7.75 | 7.19 | 10.06 | 10.31 |
| Amidon, sucre et fibre digestible. | 60.25 | 57.06 | 73.06 | 71.82 | 68.10 | 70.43 |
| Fibre ligneuse (cellulose) | 7.73 | 12.51 | 3.20 | 3.50 | 3.65 | 1.63 |
| Matières minérales (cendres). | 4.01 | 3.85 | 1.30 | 1.67 | 2.86 | 2.15 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Azote contenu[1] | 1.80 | 1.53 | 1.24 | 1.15 | 1.61 | 1.65 |

Les mêmes observations s'appliquent au grain du sorgho et du dari, au point de vue de l'utilité du mélange de la farine avec celles des légumineuses, pois, fèves, etc., pour avoir une ration appétissante et économique. La présence d'une forte proportion d'amidon qui se convertit facilement en graisse, et de matières grasses toutes formées, ne compense pas autrement la quantité relativement faible de matières albuminoïdes (assimilables).

## 3. Plantes légumineuses.

### A. — *Pois cultivé.*

Dans son étude de la paille sous le rapport de la valeur nutritive, Vœlcker a analysé spécialement celle des légumineuses, pois et fèves[2]. La composition de deux échantillons de pois cultivés, tiges et

1. *Annual Report for* 1877 et *for* 1882. — *Journ. Roy. Agric. Soc.*, 1878 et 1883.
2. *Composition and nutritive value of Straw.* Décembre 1861.

fanes, prélevés en 1860 et 1861 dans la ferme du collège de Cirencester, est reproduite dans le tableau XXV.

TABLEAU XXV. — Composition des pois cultivés.

| | | 1860. | 1861. |
|---|---|---|---|
| Eau | | 16.02 | 17.40 |
| Matières solubles | organiques | 11.28 | 11.77 |
| | inorganiques | 2.72 | |
| Matières insolubles | organiques | 67.77 | 70.83 |
| | inorganiques | 2.21 | |
| | | 100.00 | 100.00 |
| Eau | | 16.02 | 17.40 |
| Huile [1] | | 2.34 | 1.67 |
| Albumine et composés protéiques solubles [1] | | 2.96 | 6.40 |
| Composés protéiques insolubles [2] | | 5.90 | |
| Sucre, mucilage, matières extractives solubles | | 8.32 | 68.83 |
| Fibre digestible, etc. | | 16.74 | |
| — ligneuse | | 42.79 | |
| Matière organique soluble | | 2.72 | |
| — inorganique insoluble | | 2.21 | 5.96 |
| | | 100.00 | 100.00 |
| Contenant azote [1] | | 0.474 | » |
| Contenant azote [2] | | 0.945 | » |
| Azote total | | 1.419 | 1.03 |
| Cendres p. 100 | | 4.93 | » |

Les cosses vides des pois alimentaires contenant un peu de matières grasses et féculentes sont recherchées par certains nourrisseurs, et vendues comme un substitut économique de la farine de fèves : Vœlcker en a donné deux analyses[1]. (Tableau XXVI.)

1. *On the Chemistry of food*, 1856 ; et *Annual Report for* 1864.

TABLEAU XXVI. — Composition des cosses de pois.

| | 1. | 2. |
|---|---|---|
| Eau | 10.12 | 13.68 |
| Huile | 0.66 | 1.09 |
| Composés albuminoïdes (assimilables) | 5.61 | 7.12[1] |
| Mucilage, amidon et fibre digestible | 80.21 | 21.65 |
| Fibre ligneuse | | 53.71 |
| Matières minérales (cendres) | 3.57 | 2.75 |
| | 100.00 | 100.00 |
| Contenant azote[1] | » | 1.14 |

Les pois renferment environ 5 p. 100 de cendres dont la composition a été déterminée par Hertwig. Elle diffère sensiblement de celles des cendres de céréales, en ce qu'elle indique la présence de beaucoup moins de silice et de plus de chaux et d'acide phosphorique.

La paille des pois est plus riche également en huile et en matières albuminoïdes que la paille des céréales, et comme elle renferme relativement moins de fibre ligneuse non digestible, elle fournit un fourrage bien préférable pour les bêtes ovines et bovines, lorsqu'on la fauche encore tendre. Les brebis nourrices y trouvent réunies une forte proportion de sucre et de mucilage, en même temps que des matières grasses et protéiques en aussi grande quantité que dans le foin de prairie. Les cosses des pois à 7 p. 100 de matières assimilables ne sont profitables, comme nourriture à bon marché, qu'en cas de manque de paille.

B. — *Fèves.*

La composition de deux échantillons de pailles de fèves, dont une récoltée en 1860, et analysée à part des gousses, et l'autre en 1861 (ferme de Cirencester), a été déterminée par Voelcker. (Tableau XXVII.)

**TABLEAU XXVII. — Composition des fèves et gousses de fèves.**

| | 1860. Paille et fanes. | 1860. Gousses. | 1861. Paille et gousses. |
|---|---|---|---|
| Eau | 19.40 | 19.02 | 17.75 |
| Matière organique soluble | 5.69 | 73.66 | 6.86 |
| Matière organique insoluble | 2.31 | | |
| Matière minérale soluble | 71.20 | 7.32 | 75.39 |
| Matière minérale insoluble | 1.40 | | |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Contenant azote[1] | » | 1.05 | » |
| Eau | 19.40 | » | 17.75 |
| Huile | 1.02 | » | 0.41 |
| Albumine[2] | 0.47 | » | 5.06 |
| Autres composés protéiques solubles[2] | 1.04 | | |
| Composés protéiques insolubles[3] | 1.85 | | |
| Mucilage, matières extractives, etc., solubles | 4.18 | » | 73.16 |
| Fibre digestible, etc. | 2.75 | | |
| Matière organique soluble | 2.31 | | |
| Fibre ligneuse | 65.58 | | |
| Matière minérale insoluble | 1.40 | » | 3.32 |
| | 100.00 | » | 100.00 |
| Contenant azote[2] | 0.243 | » | » |
| Contenant azote[3] | 0.297 | » | » |
| Azote total | 0.540 | » | 0.81 |
| Cendres pour 100 | 3.710 | » | » |

Les cendres dosées par Way et Ogston diffèrent peu par leur composition de celle de la paille des pois. Riches également en carbonate de chaux, elles contiennent beaucoup d'acide phosphorique et de potasse et peu de silice.

La quantité d'huile dans la paille de fève ne surpasse pas celle de

la paille de pois, et celle des matières albumineuses n'est pas aussi considérable que dans la bonne paille d'avoine ou d'orge. L'amidon n'y est pas représenté et la fibre ligneuse brute, difficilement attaquée par les liqueurs faibles alcalines et acides, laisse peu de fibre digestible. Enfin, les matières solubles dans l'eau sont en faible quantité.

Le fait que la paille des fèves résiste à l'action des liquides légèrement acides et alcalins, suffit pour confirmer celui observé par les praticiens, que, même hachée, encore à l'état frais, elle est inférieure comme nourriture aux pailles des céréales et surtout à celle des pois.

Les gousses contiennent, il est vrai, une proportion notable de composés albuminoïdes qui sont plus digestibles que les tiges et les fanes ; de façon que si le bétail ou les moutons peuvent choisir les gousses et les parties plus tendres des tiges, ils en tirent un parti plus profitable pour leur alimentation, que des tiges et des fanes seules.

## 4. Plantes fourragères à racines alimentaires.

### A. — *Pomme de terre.*

Les variétés de pommes de terre dans la grande culture sont si nombreuses, la composition d'une même espèce se modifie si notablement suivant le sol, les engrais et les diverses conditions de la culture, que les analyses individuelles des tubercules, selon que les variétés sont tardives, hâtives, coureuses et non coureuses, n'ont pas grand intérêt pratique pour la détermination de leur valeur nutritive. Vœlcker, se basant sur ses propres dosages et sur d'autres lui inspirant confiance, établit de la manière suivante la composition moyenne de la pomme de terre, à l'état naturel et à l'état sec[1] (tableau XXVIII).

Ce tableau montre que, en nombres ronds, la pomme de terre bien cultivée contient trois quarts d'eau et un quart de matières solides. Il arrive que certaines pommes de terre renferment jusqu'à 80 p. 100 d'eau ; mais certaines des meilleures variétés farineuses

1. *On the Chemistry of food. — Bath and west of England Agric. Journal,* 1856.

titrent seulement 70 et même 68 p. 100 d'eau. Il résulte de cette variation extrême que les autres éléments sont soumis également à de grandes différences dans leurs proportions. La fécule peut varier de 15 et 16 à 12 p. 100; les principes protéiques peuvent descendre de 2.5 à 1.5 p. 100. Une autre conséquence de cette composition variable, c'est le désaccord des praticiens quant à la valeur nutritive de la pomme de terre. Il n'en est pas moins avéré que de toutes les racines alimentaires, la pomme de terre est la plus nourrissante et la mieux appropriée à l'engraissement des animaux.

TABLEAU XXVIII. — Composition moyenne de la pomme de terre.

| | ÉTAT naturel. | CALCULÉ à l'état sec. |
|---|---|---|
| Eau | 75.0 | » |
| Fécule | 15.5 | 62.0 |
| Matières grasses | 0.2 | 0.8 |
| Gomme, sucre, etc. | 3.0 | 12.0 |
| Albumine et caséine | 2.3 | 9.2 |
| Fibre | 3.0 | 12.0 |
| Matières minérales (cendres) | 1.0 | 4.0 |
| | 100.0 | 100.0 |
| Eau | 75.0 | » |
| Principes assimilables | 2.3 | 9.2 |
| — non azotés (combustibles) | » | » |
| *a*. Fécule, sucre, etc. | 18.7 | 74.8 |
| *b*. Fibre | 3.0 | 12.0 |
| Matières minérales (cendres) | 1.0 | 4.0 |
| | 100.0 | 100.0 |

B. — *Betterave fourragère.*

Les analyses de betteraves fourragères que Vœlcker a publiées se réfèrent aux résidus de distillerie pouvant servir de nourriture aux animaux, et aux racines elles-mêmes fournies comme aliment. Nous traitons plus loin de ses recherches spéciales sur la betterave à sucre.

*Mangolds et pulpes de distillerie.* — Dans un travail consacré à la composition et aux propriétés nutritives de la betterave disette (*mangold wurzel*) et des résidus de sa distillation[1], deux échantillons de *mangold yellow globe* (betterave globe jaune) et les pulpes provenant de leur distillation ont été soumis à l'analyse, à l'état naturel et à l'état sec (soit à 100° centigrades). Les résultats de ces analyses sont consignés dans le tableau XXIX.

La pulpe fut recueillie dans une distillerie alors en activité à Minety, dans le Wiltshire, à peu de distance de Cirencester. Par le procédé Leplay, la fermentation s'opérait sur les betteraves débitées en cossettes, et celles-ci étaient distillées en vase clos par la vapeur surchauffée. Comme une quantité considérable d'acide sulfurique était ajoutée pour la distillation, la pulpe franchement acide pouvait se conserver assez longtemps sans fermenter ; elle était de couleur blanc grisâtre, mais devenait noire en tas, au contact de l'air. Les porcs la mangeaient avec avidité ; pour les moutons et les vaches, il était nécessaire de les y habituer, en mélangeant la pulpe avec du trèfle haché.

En comparant, dans le tableau, la composition de la pulpe fraîche avec celle des racines mêmes, on reconnaît que la proportion d'eau ayant augmenté d'environ 3.5 p. 100 dans la pulpe, le sucre y a presque entièrement disparu, la masse de fibre ligneuse et les matières albuminoïdes se sont accrues, quoique ces dernières se trouvent à l'état soluble en plus grande quantité dans les racines, de même que les matières minérales; de façon que les éléments solubles de la betterave ont diminué dans la pulpe, tandis que la cellulose a augmenté.

La comparaison des analyses de la racine et de la pulpe à l'état sec permet de développer des observations intéressantes.

Ainsi, réduite au même état de siccité que la pulpe, la racine renferme 2,5 fois autant de sucre, de gomme et de composés pectiques solubles; tandis que la pulpe contient près du double de composés albuminoïdes, et 30 p. 100 en plus de fibre ligneuse. Il en résulte que, poids pour poids, la pulpe analysée n'a pas la même valeur nutritive que la betterave, tout en offrant un résidu nutritif à un haut degré.

1. *On the composition and nutritive properties of mangold pulp*, juin 1860.

TABLEAU XXIX. — Composition des betteraves et des pulpes de distillerie.

| | BETTERAVE GLOBE JAUNE. | | PULPE FRAÎCHE. | | BETTERAVES ET PULPES SÈCHES. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1er échantillon. 1. | 2e échantillon. 2. | 1er échantillon. 3. | 2e échantillon. 4. | 1er échantillon. — Racine à l'état sec. | 1er échantillon. — Pulpe à l'état sec. | 2e échantillon. — Racine à l'état sec. | 2e échantillon. — Pulpe à l'état sec. |
| *Composition élémentaire.* | | | | | | | | |
| Eau | » | 88.450 | 90.78 | 91.81 | » | » | » | » |
| Matière organique soluble | » | 10.521 | 2.86 | 2.61 | » | 30.65 | » | 32.07 |
| — insoluble | » | | 5.26 | 4.70 | » | 57.47 | » | 57.58 |
| Matière inorganique soluble | » | 1.026 | 0.56 | 0.38 | » | 6.17 | » | 4.75 |
| — insoluble | » | | 0.54 | 0.47 | » | 5.71 | » | 5.60 |
| | » | 100.000 | 100.00 | 100.00 | » | 100.00 | » | 100.00 |
| *Composition immédiate.* | | | | | | | | |
| Eau | 87.440 | 88.450 | 90.78 | 91.81 | » | » | » | » |
| Sucre, gomme et composés pectiques solubles | 7.408 | 7.358 | 2.21 | 1.98 | 59.98 | 23.98* | 65.26 | 21.31* |
| Matières minérales solubles | 1.356 | 0.952 | 0.56 | 0.38 | 10.79 | 6.17 | 8.21 | 4.75 |
| Composés albuminoïdes solubles[1] | 0.956 | 0.887 | 0.61 | 0.64 | 7.62 | 6.67 | 7.68 | 7.87 |
| — insolubles[2] | 0.144 | 0.101 | 0.76 | 0.69 | 1.14 | 8.25 | 0.89 | 8.50 |
| Fibre cellulaire et composés pectiques insolubles | 2.583 | 1.995 | 4.53 | 3.99 | 20.57 | 49.22 | 17.28 | 48.97 |
| Matières minérales insolubles | 0.113 | 0.074 | 0.55 | 0,48 | 0.90 | 5.71 | 0.65 | 5.60 |
| | 100.000 | 100.000 | 100,00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Contenant azote[1] | 0.153 | 0.142 | 0.09 | 0.09 | 1.22 | 1.07 | 1.23 | 1.26 |
| — azote[2] | 0.023 | 0.017 | 0.12 | 0.11 | 0.18 | 1.32 | 0.14 | 1.36 |
| Azote total | 0.176 | 0.159 | 0.21 | 0.20 | 1.40 | 2.39 | 1.37 | 2.62 |
| Égal à composés protéiques | » | 0.991 | » | » | 8.76 | 14.92 | 8.57 | 16.37 |

* Renferment des traces de sucre.

En effet, une tonne de betteraves (globe jaune), si on fait le calcul, renferme 122 kilogr. de matière sèche, c'est-à-dire un tiers de plus qu'une tonne de pulpe. A moins que la matière sèche de la pulpe ne jouisse de propriétés nutritives supérieures, l'avantage reste à la betterave. Or, la betterave sèche tenant 2,5 fois plus de sucre, de gomme et de matières pectiques solubles que la pulpe, c'est-à-dire 38 p. 100 en plus, de substances propres à l'engraissement et très facilement digestibles, il n'y a pas à douter de sa supériorité. Il est vrai que la pulpe renferme 7 p. 100 de matières albuminoïdes et 30 p. 100 de fibre ligneuse en plus que la racine ; mais la fibre, déduction faite des composés albuminoïdes, se compose pour ainsi dire de ligneux, et l'excès d'albumine n'augmente pas sensiblement la dose préexistant dans la racine, sous le rapport de l'économie animale. Vœlcker n'hésite pas à se prononcer en faveur du sucre comme étant l'élément principal, déterminant la valeur nutritive des racines, contrairement aux opinions exprimées sur ce point par divers écrivains.

*Betterave globe* (*racines et feuilles*). — A l'occasion d'essais de culture de la betterave (globe orange) sur le sol calcaire tenace et sans sable de la ferme de Cirencester, préalablement travaillé et fumé avec addition de sel marin, Vœlcker a déterminé la composition moyenne des betteraves et de leurs feuilles, sur chacune des 9 parcelles expérimentales, dont une restée sans sel marin[1]. Les conditions de l'essai sont résumées comme il suit :

| PARCELLES. | SEL MARIN à l'hectare. | POIDS MOYEN des racines. | POIDS MOYEN des têtes. |
|---|---|---|---|
| | Kil. | Kil. | Kil. |
| Nos 1. . . . . . . . . . . | 125,5 | 2,039 | 0,680 |
| — 2. . . . . . . . . . . | 251,0 | 1,646 | 0,590 |
| — 3. . . . . . . . . . . | 376,6 | 1,419 | 0,482 |
| — 4. . . . . . . . . . . | 502,0 | 1,813 | 0,680 |
| — 5. . . . . . . . . . . | Sans sel. | 1,306 | 0,510 |
| — 6. . . . . . . . . . . | 627,7 | 1,813 | 0,510 |
| — 7. . . . . . . . . . . | 753,2 | 2,040 | 0,566 |
| — 8. . . . . . . . . . . | 878,8 | 1,533 | 0,453 |
| — 9. . . . . . . . . . . | 1000,4 | 1,306 | 0,510 |

1. *Composition of orange globe mangolds; bulbs and tops.* Juillet 1865.

TABLEAU XXX. — Composition des betteraves globe orange (racines).

| NUMÉROS DES PARCELLES ET FUMURES. | SEL : 125k. 1. | SEL : 250k. 2. | SEL : 375k. 3. | SEL : 500k. 4. | SANS SEL. 5. | SEL : 625k. 6. | SEL : 750k. 7. | SEL : 875k. 8. | SEL : 1000k. 9. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Composition élémentaire.* | | | | | | | | | |
| Eau | 916.50 | 906.69 | 891.79 | 901.34 | 907.92 | 900.34 | 926.50 | 898.57 | 897.50 |
| Matière organique[1] | 72.83 | 80.20 | 93.21 | 87.68 | 80.47 | 85.47 | 61.65 | 88.81 | 90.86 |
| Matière minérale (cendres) | 10.67 | 13.11 | 11.97 | 10.98 | 11.61 | 14.19 | 11.85 | 12.62 | 11.64 |
| | 1000.00 | 1000.00 | 1000.00 | 1000.00 | 1000.00 | 1000.00 | 1000.00 | 1000.00 | 1000.00 |
| Contenant azote[1] | 1.80 | 1.95 | 2.32 | 1.75 | 1.92 | 2.48 | 1.95 | 2.60 | 2.45 |
| Égal à composés albuminoïdes | 11.29 | 12.18 | 14.43 | 10.95 | 12.01 | 15.50 | 12.18 | 16.21 | 15.35 |
| *Composition immédiate.* | | | | | | | | | |
| Eau | 916.50 | 906.69 | 894.79 | 901.34 | 907.92 | 900.34 | 923.50 | 898.57 | 897.50 |
| Sucre | 44.69 | 52.16 | 51.41 | 56.30 | 46.61 | 43.72 | 23.31 | 45.56 | 41.69 |
| Composés albuminoïdes solubles[2] | 10.02 | 10.05 | 11.95 | 9.37 | 10.08 | 13.44 | 10.81 | 14.12 | 13.54 |
| — — insolubles[3] | 1.27 | 2.13 | 2.43 | 1.58 | 1.93 | 2.03 | 1.37 | 2.12 | 1.81 |
| Fibre végétale et pectine | 16.85 | 15.56 | 24.45 | 20.43 | 21.82 | 26.25 | 26.16 | 26.91 | 30.82 |
| Matières minérales solubles[4] | 10.14 | 12.16 | 10.71 | 10.15 | 10.92 | 12.97 | 11.85 | 11.45 | 11.61 |
| — — insolubles | 0.53 | 0.95 | 1.26 | 0.82 | 0.69 | 1.22 | | 1.17 | |
| | 1000.00 | 1000.00 | 1000.00 | 1000.00 | 1000.00 | 1000.00 | 1000.00 | 1000.00 | 1000.00 |
| Contenant azote[2] | 1.60 | 1.61 | 1.93 | 1.50 | 1.61 | 2.15 | 1.73 | 2.26 | 2.16 |
| — azote[3] | 0.20 | 0.34 | 0.39 | 0.25 | 0.31 | 0.33 | 0.22 | 0.34 | 0.29 |
| Azote total | 1.80 | 1.95 | 2.32 | 1.75 | 1.92 | 2.48 | 1.95 | 2.60 | 2.45 |
| Égal à composés albuminoïdes | 11.29 | 12.18 | 14.38 | 10.95 | 12.01 | 15.50 | 11.68 | 16.21 | 15.35 |
| Contenant chlore[4] | 1.88 | 2.36 | 2.68 | 2.61 | 2.57 | 2.85 | 2.69 | 2.64 | 1.82 |
| Égal à chlorure de sodium | 3.09 | 3.88 | 4.41 | 4.35 | 1.23 | 4.69 | 4.13 | 4.35 | 2.99 |

L'examen analytique (tableau XXX) des betteraves prélevées sur chacune des parcelles donne lieu à une première observation concernant la teneur en eau des racines, qui varie de 89.5 à 92.5, et par conséquent surpasse celle des turneps cultivés sur de bonnes terres[1]. Il en résulte que, poids pour poids, le mangold venu sur des terrains froids ou humides, reste aqueux, ne mûrit point parfaitement en terre et fournit moins d'éléments nutritifs que le turneps blanc.

Dans les racines de la parcelle n° 7, par suite de la teneur en eau et de la proportion relativement élevée de fibre ligneuse qui dénotent une maturité imparfaite, la quantité de sucre est extrêmement faible, et pourtant elles renferment non moins de composés albuminoïdes et de matières minérales que les racines plus mûres.

Dans la parcelle n° 4, la plus faible teneur en matières azotées coïncide avec la teneur la plus élevée en sucre qui règle plus que tout autre élément la valeur nutritive pour le bétail. Le sucre, qui varie dans les racines des autres parcelles entre 4.5 et 5.5 p. 100, est à une teneur moins élevée que dans les betteraves cultivées sur des terres légères, profondes et chaudes. Par rapport aux betteraves sucrières venues en France, en Belgique, en Allemagne, l'écart est considérable; ce qui est dû en partie à la dose d'engrais employée en Angleterre, car il est avéré que les engrais azotés, tels que le guano ou le sulfate d'ammoniaque, assurent de fortes récoltes en poids, au détriment de la richesse saccharine et nutritive, lorsqu'elles ne peuvent parfaitement mûrir.

La teneur en matières albuminoïdes variant peu entre les racines des neuf parcelles, celle de la fibre ligneuse varie presque du double, comme entre le n° 9 et le n° 2, pour une dose égale de sucre.

Le sel marin ne semble pas avoir exercé une action appréciable sur la composition des racines ; les betteraves de la parcelle n° 5 qui n'a pas reçu de sel marin, en tiennent à peu près autant que les autres.

Pour compléter cette étude, Vœlcker a soumis à l'analyse les têtes

1. En moyenne, le turneps renferme de 89 à 90 p. 100 d'eau, quand il est ferme et sucré; la teneur en eau ne s'élève au-dessus de 92 p. 100 que dans les turneps spongieux.

TABLEAU XXXI. — Composition des betteraves globe orange (tête et feuilles fraîches).

| NUMÉROS DES PARCELLES ET FUMURES. | SEL : 125k. 1. | SEL : 250k. 2. | SEL : 375k. 3. | SEL : 500k. 4. | SANS SEL. 5. | SEL : 625k. 6. | SEL : 750k. 7. | SEL : 875k. 8. | SEL : 1000k. 9. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eau | 934.00 | 932.00 | 882.50 | 921.00 | 919.00 | 866.60 | 914.00 | 920.00 | 909.00 |
| Matières organiques [1] | 46.88 | 50.49 | 82.24 | 58.75 | 57.34 | 99.60 | 64.57 | 56.81 | 65.08 |
| Matières minérales (cendres) [2] | 19.12 | 17.51 | 35.26 | 20.25 | 23.66 | 33.80 | 21.43 | 23.19 | 25.92 |
| | 1000.00 | 1000.00 | 1000.00 | 1000.00 | 1000.00 | 1000.00 | 1000.00 | 1000.00 | 1000.00 |
| Contenant azote [1] | 1.92 | 2.43 | 3.66 | 2.53 | 2.53 | 4.60 | 2.55 | 2.25 | 2.85 |
| Égal à composés albuminoïdes | 11.97 | 15.18 | 22.87 | 15.81 | 15.81 | 28.72 | 15.93 | 14.06 | 17.80 |
| Contenant chlore [2] | 4.64 | 5.36 | 10.27 | 5.41 | 6.02 | 8.16 | 5.44 | 6.63 | 7.01 |
| Égal à chlorure de sodium | 7.64 | 8.83 | 16.52 | 8.91 | 9.97 | 13.44 | 8.96 | 10.92 | 11.55 |
| **Composition des betteraves globe orange (têtes et feuilles séchées à 100 degrés centigrades).** | | | | | | | | | |
| Matières organiques [1] | 70.88 | 74.25 | 69.99 | 74.37 | 70.79 | 74.67 | 75.08 | 71.02 | 71.52 |
| Matières minérales (cendres) [2] | 29.12 | 25.75 | 30.01 | 25.63 | 29.21 | 25.33 | 24.92 | 28.98 | 28.48 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Contenant azote [1] | 2.90 | 3.57 | 3.11 | 3.20 | 3.01 | 3.44 | 2.96 | 2.81 | 3.13 |
| Égal à composés albuminoïdes | 18.12 | 22.31 | 19.43 | 20.01 | 19.53 | 21.53 | 18.50 | 17.56 | 19.56 |
| Contenant chlore [2] | 7.03 | 7.88 | 8.74 | 6.85 | 7.43 | 6.11 | 6.32 | 8.28 | 7.70 |
| Égal à chlorure de sodium | 11.57 | 12.98 | 14.06 | 11.28 | 12.30 | 10.07 | 10.41 | 13.65 | 12.69 |

et les feuilles des échantillons de racines des 9 parcelles. Le tableau XXXI fournit les résultats de la composition élémentaire de ces têtes, à l'état frais et à l'état sec. La proportion d'eau p. 100 variant considérablement, la quantité de matières solides tombe jusqu'à 6.5 et 7 p. 100. La matière sèche est formée, pour un quart jusqu'à un tiers de son poids, de matières minérales parmi lesquelles dominent les sels qui motivent les propriétés laxatives des feuilles données trop abondamment en nourriture au bétail. Bien que les matières azotées soient en plus grande quantité dans les têtes que dans les racines, il est probable que leur état d'élaboration est moins avancé, et par cela même les rend moins assimilables. Le sel marin appliqué en couverture n'a pas eu plus d'effet sur les feuilles que sur les bulbes.

*Betterave mangold, feuilles.* — Vœlcker avait publié précédemment l'analyse des feuilles de betterave (mangold) à l'état frais et à l'état sec[1], et formulé les mêmes conclusions quant à leur valeur nutritive, par rapport à celle de la racine dont la composition, établie sur la moyenne de 13 analyses par Way, Johnston, Wolff et par lui-même, figure tableau XXXII.

**TABLEAU XXXII. — Composition moyenne de la betterave disette (mangold wurzel).**

| | ÉTAT naturel. | ÉTAT sec. |
|---|---|---|
| Eau | 87.78 | » |
| Principes protéiques assimilables | 1.54 | 12.60 |
| Fibre ligneuse | 1.12 | 9.16 |
| Sucre | 6.10 | 49.91 |
| Gomme, pectine, etc. | 2.50 | 20.45 |
| Matières minérales (cendres) | 0.96 | 7.88 |
| | 100.00 | 100.00 |

Vœlcker fait remarquer qu'après avoir été arrachées, les betteraves renferment une substance particulièrement âcre qui purge

1. *On the chemistry of food,* 1856.

le bétail, s'il s'en nourrit immédiatement. Bien qu'on n'ait pas recherché si ce principe âcre disparaissait par la conservation des racines, il est certain qu'après quelques mois il n'agit plus. La supériorité comme nourriture des racines conservées sur les racines fraîches, est peut-être attribuable à la disparition de ce principe ; mais elle est due positivement à l'accroissement de leur richesse saccharine par la transformation de la pectine en sucre. Il est donc recommandé d'emmagasiner les mangolds destinés à la nourriture des animaux jusqu'en janvier. Il y a lieu d'excepter, parmi les animaux qui tirent profit du mangold pour l'engraissement, les moutons auxquels cette nourriture ne convient à aucun degré. Les essais de Vœlcker sur ce point ont été confirmés par nombre de praticiens.

Malgré leur forte teneur en matières azotées, les feuilles de betteraves (tableau XXXIII) n'ont pas une grande valeur nutritive, contrairement à ce que l'analyse semblerait impliquer ; mais elles renferment une proportion notable de matières inorganiques qui consistent principalement en phosphates de potasse et de soude. Il se peut que ces phosphates alcalins ne favorisent pas l'assimilation des matières nutritives et soient contraires à l'organisme des animaux.

**TABLEAU XXXIII. — Composition moyenne des feuilles de betteraves disette (mangold wurzel).**

| | ÉTAT frais. | ÉTAT sec. |
|---|---|---|
| Eau | 91.960 | » |
| Principes protéiques assimilables | 1.764 | 22.019 |
| Principes combustibles | 4.984 | 61.912 |
| Matières minérales (cendres) | 1.292 | 16.069 |
| | 100.000 | 100.000 |

*Mangolds conservés.* — Vœlcker a procédé à l'analyse de *mangolds* conservés pendant deux années et parfaitement intacts[1]. La

1. *On the composition of a mangold wurzel kept for two years,* juin 1859.

composition de ces racines, qui figure dans le tableau XXXIV, donne lieu à des remarques intéressantes.

Le jus de la racine conservée ayant une densité de 1,022, on constate que la proportion d'eau est bien plus élevée que dans les racines de moyenne qualité; celle des matières minérales qui consistent pour ainsi dire en sels solubles est également de beaucoup supérieure à la moyenne. Parmi ces sels solubles, le sel marin titre 0gr,041 dans la racine fraîche et 0gr,680 dans la racine desséchée; enfin la teneur en azote est au-dessus de la moyenne.

**TABLEAU XXXIV. — Composition de betteraves disette conservées.**

| | ÉTAT naturel. | ÉTAT SEC à 100 degrés centigrades. |
|---|---|---|
| *Composition élémentaire.* | | |
| Eau | 92.25 | » |
| Matière organique soluble | 3.27 | 42.32 |
| — minérale soluble | 1.23 | 15.87 |
| — organique insoluble | 3.12 | 40.16 |
| — minérale insoluble | 0.13 | 1.65 |
| | 100.00 | 100.00 |
| *Composition immédiate.* | | |
| Eau | 92.25 | » |
| Matières protéiques solubles [1] | 0.97 | 12.51 |
| Sucre, gomme et pectine | 4.08 | 52.67 |
| Sels minéraux solubles | 1.23 | 15.87 |
| Composés protéiques insolubles [2] | 0.16 | 2.06 |
| Fibre ligneuse (cellulose) | 1.18 | 15.22 |
| Matières minérales insolubles | 0.13 | 1.67 |
| | 100.00 | 100.00 |
| Contenant azote [1] | 0.155 | 2.00 |
| Contenant azote [2] | 0.025 | 0.32 |
| Azote total | 0.18 | 2.32 |

Il n'est pas douteux que, quoique intacte en apparence, la betterave ainsi conservée a subi des altérations nuisibles à sa valeur nutritive; l'augmentation d'eau, d'une part, et celle de la matière minérale, d'une autre, dénotent les effets de la fermentation. Tandis que la matière organique sèche, entrant en fermentation, a disparu à l'état

gazeux, le taux de la matière inorganique qui n'est pas volatile a augmenté d'autant.

Le fait que la betterave a pu se conserver deux années, en gardant toutefois une valeur nutritive moins élevée que la racine fraîche, est-il dû à la teneur en sel marin, et par conséquent à l'influence de l'engrais? C'est ce que des expériences systématiquement conduites pourraient seules permettre de décider.

C. — *Panais et carotte.*

Le panais, de même que la carotte, réussit le mieux dans des terres profondes, bien ameublies, où son rendement à l'hectare peut atteindre jusqu'à 70 tonnes. Les racines que Vœlcker a analysées provenaient des terres calcaires, pierreuses et peu profondes de la ferme expérimentale de Cirencester et leur rendement moyen, étant donnée leur faible dimension, n'excédait guère 45 tonnes à l'hectare[1].

Les données de la composition des deux racines, panais et carotte blanche de Belgique, sont résumées dans le tableau XXXV qui motive des observations comparatives spéciales.

Bien que la composition se ressemble, le panais se distingue par une moindre teneur en sucre, qui est remplacé par de l'amidon faisant défaut dans la carotte.

La carotte blanche contient de 5 à 6 p. 100 d'eau en plus que le panais ; ce qui revient à dire que la matière solide y atteint 12 p. 100, au lieu de 18 p. 100 dans le panais.

Au point de vue nutritif, le panais frais tient 1.30 p. 100, et le panais sec 7.25 p. 100 de principes assimilables ; tandis que la carotte fraîche en renferme seulement 0.612, et à l'état sec 5.46 p. 100. Le panais se montre ainsi d'une richesse égale en composés albuminoïdes à celle des mangolds. En outre, il renferme plus de matières protéiques, c'est-à-dire plus d'azote à l'état de sels ammoniacaux que la carotte.

La proportion de la matière grasse est double dans le panais.

---

1. *On the composition of the parsnip and white Belgian carrot. — Journ. Roy. Agr. Soc.*, 1853.

**TABLEAU XXXV. — Composition du panais et de la carotte blanche.**

| | PANAIS | | CAROTTE BLANCHE | |
|---|---|---|---|---|
| | à l'état naturel. | calculé à l'état sec. | à l'état naturel. | calculée à l'état sec. |
| *Composition élémentaire.* | | | | |
| Eau. . . . . . . . . . . . . | 82.050 | » | 87.338 | » |
| Matières azotées assimilables. . . | 1.280 | 7.27 | 0.667 | 5.268 |
| Matières non azotées combustibles. | 15.738 | 87.54 | 11.250 | 88.442 |
| Matières inorganiques (cendres). . | 0.932 | 5.19 | 0.745 | 6.290 |
| | 100.000 | 100.00 | 100.000 | 100.000 |
| *Composition immédiate.* | | | | |
| Eau. . . . . . . . . . . . . | 82.050 | » | 87.338 | » |
| Fibre cellulaire . . . . . . . . | 8.022 | 44.691 | 3.471 | 27.412 |
| Cendre unie à la fibre. . . . . . | 0.208 | 1.159 | 0.145 | 1.145 |
| Composés albuminoïdes insolubles. | 0.550 | 3.064 | 0.169 | 1.334 |
| Caséine soluble . . . . . . . . | 0.665 | 3.701 | 0.498 | 3.934 |
| Gomme et pectine . . . . . . . | 0.748 | 4.166 | 0.885 | 6.989 |
| Sels insolubles dans l'alcool. . . | 0.455 | 2.535 | 0.293 | 2.314 |
| Ammoniaque (sels ammoniacaux) . | 0.039 | 0.184 | 0.008 | 0.063 |
| Amidon. . . . . . . . . . . . | 3.507 | 19.537 | » | » |
| Matières grasses. . . . . . . . | 0.546 | 3.041 | 0.203 | 1.604 |
| Sucre . . . . . . . . . . . . | 2.882 | 16.055 | 6.544 | 51.682 |
| Sels solubles dans l'alcool. . . . | 0.339 | 1.888 | 0.409 | 3.230 |
| | 100.000 | 100.025 | 99.963 | 99.707 |

Quant à la fibre cellulaire dont la teneur varie pour les deux racines, il convient de rappeler qu'aussi bien dans les mangolds, les navets, etc., elle n'est pas inutile dans l'économie animale, car il est hors de doute que les fibres jeunes et molles sont facilement converties dans l'estomac des animaux en gomme et en sucre, qui servent au travail de l'appareil respiratoire et à la formation de la graisse.

En somme, le panais possède une valeur nutritive supérieure à celle de la carotte blanche, et comme il résiste mieux à la gelée et se conserve plus longtemps à cause de sa plus faible teneur en eau que les autres racines[1], il se recommande spécialement pour la culture.

1. Le panais renferme, en effet, de 6 à 8 p. 100 moins d'eau que le turneps, et de 5 à 6 p. 100 moins d'eau que la betterave mangold (*Chemistry of food*, 1856).

L'examen de la structure du panais est facilité en humectant la section transversale par de l'iode qui colore en violet foncé les couches extérieures et laisse celles à l'intérieur à peu près incolores. On reconnaît ainsi trois cercles distincts : au centre, un cercle non coloré ; à la périphérie, un cercle bleu-violet foncé ; et entre les deux, un cercle bleu ; c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'amidon au centre ni dans les couches qui l'enveloppent, mais qu'il est déposé presque en entier dans les couches extérieures.

L'analyse indique d'ailleurs que les couches intermédiaires renferment bien plus de matières protéiques que les autres, à savoir :

| | PARTIES | | |
|---|---|---|---|
| | médianes. | intermédiaires. | externes. |
| Azote p. 100. . . . . . . . . . . | 1.067 | 1.500 | 1.039 |
| Égal à composés protéiques . . . . | 6.668 | 9.375 | 6.493 |

Les cendres des panais et des carottes blanches de Belgique ont été analysées par Richardson et par Way. Ces analyses sont reproduites par Vœlcker tableau XXXVI :

**TABLEAU XXXVI. — Composition des cendres du panais et de la carotte.**

| | PANAIS (*Richardson*). | CAROTTE blanche (*Way*). |
|---|---|---|
| Potasse . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 36.12 | 32.41 |
| Soude. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 3.11 | 13.52 |
| Magnésie. . . . . . . . . . . . . . . . . . | 9.94 | 3.96 |
| Chaux. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 11.43 | 8.83 |
| Acide phosphorique . . . . . . . . . . . . | 18.66 | 8.55 |
| Acide sulfurique. . . . . . . . . . . . . . | 6.50 | 6.55 |
| Acide carbonique . . . . . . . . . . . . . | » | 17.30 |
| Silice. . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 4.10 | 1.19 |
| Peroxyde de fer. . . . . . . . . . . . . . | » | 1.10 |
| Phosphate de fer. . . . . . . . . . . . . | 3.71 | » |
| Chlorure de sodium . . . . . . . . . . . . | 5.51 | 6.50 |
| | 99.11 | 99.94 |

D. — *Raves et navets.*

On sait la place importante qu'occupe dans la culture, en Angleterre, la récolte des raves et des navets et ce que la prospérité agricole de ce royaume et de plusieurs autres États du Nord de l'Europe doit à son extension, principalement pour la nourriture des bêtes à laine.

**TABLEAU XXXVII. — Composition des raves et navets de Suède.**

| | COMPOSITION P. 100. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Eau. | Substances assimilables. | Substances sèches. | Sucre, pectine, gomme. | Fibre ligneuse. | Substance minérale (cendres). |
| *Raves.* | | | | | | |
| Globe blanc (Cirencester 1852). | 90.430 | 1.143 | (9.570) | 5.457 | 2.342 | 0.628 |
| — — — — | 90.38 | » | 9.62 | » | » | 0.620 |
| Norfolk bell — — | 92.280 | 1.737 | (7.720) | 2.962 | 2.000 | 1.021 |
| *Navet de Suède.* | | | | | | |
| Cultivé à Cirencester 1852 . . | 89.460 | 1.443 | (10.540) | 5.932 | 2.542 | 0.623 |
| — — — . . | 89.80 | 1.174 | 10.20 | » | » | 0.744 |
| — — — . . | 91.00 | » | 9.00 | » | » | 0.635 |
| — — 1853 . . | 86.15 | 2.006 | 13.85 | » | » | 0.654 |
| — — — . . | 86.33 | 1.862 | 13.17 | » | » | 0.641 |
| — — — . . | 87.20 | 1.875 | 12.80 | » | » | 0.558 |
| — — — . . | 87.40 | 1.712 | 12.60 | » | » | 0.655 |
| — — — . . | 88.11 | 1.643 | 11.89 | » | » | 0.628 |
| — — — . . | 88.35 | 1.593 | 11.65 | » | » | 0.498 |
| — — — . . | 88.60 | 1.737 | 11.40 | » | » | 0.548 |
| — — — . . | 87.28 | 1.593 | 10.72 | » | » | 0.516 |
| — — — . . | 89.96 | 1.712 | 10.04 | » | » | 0.639 |

La composition des diverses espèces de raves ou turneps et de navets, et par suite leur valeur nutritive, offrent la plus grande diversité. Comme pour une seule et même variété, suivant qu'elle est cultivée dans des sols différents, les éléments varient beaucoup, il n'y a pas lieu d'attacher un intérêt spécial à la valeur nutritive de chaque variété de rave ou de navet. C'est le sol en définitive qui règle le rendement et la qualité nutritive de ces crucifères. Cette

conclusion ressort des analyses élémentaires faites par Anderson en Écosse, dont nous n'avons pas à nous occuper ici, et de celles faites par Vœlcker à Cirencester, que nous reproduisons tableau XXXVIII[1].

En moyenne, les raves ou turneps renferment de 89 à 92 p. 100 d'eau et de 8 à 11 p. 100 de matière solide sèche. Les navets de Suède contiennent d'ordinaire moins d'eau que les autres raves; ils sont généralement plus fermes et de meilleure garde; ils sont plus nourrissants que les autres racines de même espèce. Quoiqu'on évalue les propriétés nutritives des navets d'après leur teneur en azote, M. Lawes, de Rothamsted, a démontré expérimentalement que les navets les plus riches en azote ne sont pas les plus nutritifs. L'influence du sol sur les qualités de ces crucifères est bien connue des praticiens. Ainsi les navets cultivés dans des terres argileuses très tenaces, ou tourbeuses, ne valent pas ceux obtenus sur des *loams* légers. Le climat et la saison ont également une action décisive sur les

**TABLEAU XXXVIII. — Composition moyenne des têtes et feuilles de navets.**

| | NAVETS DE SUÈDE. | | TURNEPS DE NORFOLK. | |
|---|---|---|---|---|
| | État frais. | État sec. | État frais. | État sec. |
| Eau. . . . . . . . . . . . . | 88.367 | » | 91.284 | » |
| Matières organiques solubles . . . | 3.699 | 31.794 | 3.104 | 35.613 |
| — inorganiques solubles . . | 1.984 | 17.054 | 1.225 | 14.055 |
| — — insolubles. . | 0.312 | 2.682 | 0.295 | 3.384 |
| Fibre végétale impure. . . . . . | 5.638 | 48.470 | 4.092 | 46.948 |
| | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 |
| Eau. . . . . . . . . . . . . | 88.367 | » | 91.284 | » |
| Principes assimilables. . . . . . | 2.087 | 17.944 | 2.456 | 28.175 |
| — combustibles . . . . . | 7.250 | 62.320 | 4.740 | 54.386 |
| Matières minérales (cendres). . . | 2.296 | 19.736 | 1.520 | 17.439 |
| | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 |

1. *On the chemistry of food; — Bath and W. of England Agric. Journal*, t. IV, 1856.

qualités des navets, qui exigent une certaine dose d'humidité atmosphérique. De même, la croissance n'est pas sans influence sur la qualité du navet ; quand il pousse trop vite, grâce à des engrais trop stimulants, il est moins nutritif et se conserve moins bien. Le guano du Pérou, par raison d'économie d'abord, puis à cause de sa tendance à augmenter la dose d'eau des racines, doit être employé modérément, ou en mélange avec des phosphates.

*Feuilles des navets.* — Les têtes ou feuilles des turneps et des navets, dont la composition a été déterminée par Vœlcker (tableau XXXVIII), donnent lieu aux mêmes remarques que celles de la betterave (mangold). Si elles renferment beaucoup de matières azotées, leur forte proportion de cendres, consistant principalement en phosphates alcalins, diminue leur valeur nutritive et les rend moins profitables pour les animaux.

La composition moyenne des cendres de turneps (bulbes et feuilles) telle qu'elle résulte de nombreux essais, est, d'après Vœlcker, la suivante[1] (Tableau XXXIX) :

**TABLEAU XXXIX. — Composition des cendres de turneps.**

| | RACINES. | FEUILLES. |
|---|---|---|
| Potasse | 42.0 | 20.0 |
| Soude | 2.0 | 3.0 |
| Magnésie | 2.0 | 1.0 |
| Chaux | 11.5 | 30.0 |
| Acide phosphorique | 9.0 | 5.0 |
| Acide sulfurique | 11.5 | 11.0 |
| Silice | 1.0 | 1.0 |
| Chlorure de sodium | 6.0 | 8.0 |
| Chlorure de potassium | » | 5.0 |
| Acide carbonique | 15.0 | 16.0 |
| | 100.0 | 100.0 |

En comptant sur une récolte à l'hectare de 50t,215 de racines et de 15t,064 de feuilles, comme les cendres en moyenne représentent

1. *The absorption of phosphate of lime, etc., for root crops*, 1863.

0.70 p. 100 du poids des racines et 1.70 p. 100 des feuilles, on enlève au sol par hectare, en nombres ronds :

| | |
|---|---|
| Par les racines | $352^{kgr}$ |
| Par les feuilles | 255 ,5 |
| Total | $607^{kgr}$,5 |

Les éléments de ces cendres se répartissent, pour un hectare, entre les racines et les feuilles comme il suit :

| | RACINES. | FEUILLES. | TOTAL. |
|---|---|---|---|
| | Kil. | Kil. | Kil. |
| Potasse | 147,9 | 51,0 | 198,9 |
| Soude | 7,0 | 7,8 | 14,8 |
| Magnésie | 7,0 | 2,5 | 9,5 |
| Chaux | 40,3 | 76,8 | 117,1 |
| Acide phosphorique | 31,7 | 12,9 | 44,6 |
| — sulfurique | 40,3 | 28,0 | 68,3 |
| Silice | 3,4 | 2,5 | 5,9 |
| Chlorure de sodium | 21,3 | 20,4 | 41,7 |
| — de potassium | » | 12,9 | 12,9 |
| Acide carbonique | 53,0 | 40,6 | 93,6 |
| | 351,9 | 255,4 | 607,3 |
| | 607,3 | | |

Il en résulte qu'une récolte de turneps enlève $44^{kgr}$,6 d'acide phosphorique au sol, tandis qu'une récolte de froment (grains et paille) en enlève seulement $28^{kgr}$,8; en d'autres termes, 50 tonnes de turneps privent le sol de près de 16 kilogr. d'acide phosphorique en plus que $28^{hec}$,7 de froment par hectare.

*Composition des navets de Suède selon les engrais.* — Sans aborder les détails qui seront donnés plus tard des essais de culture des navets de Suède, pratiqués sur les terres de la ferme de Cirencester, à l'aide de neuf engrais différents, nous rapporterons à cette place les analyses que Vœlcker a publiées[1] des racines de chacune des dix parcelles expérimentales, y compris celle restée sans engrais.

Vœlcker a eu en vue par ces analyses qui comprennent la teneur

1. *On the comparative value of artificial manures for raising a crop of Swedes. — Journ. Roy. Agric. Soc. of England,* vol. XVI, 1855.

en eau, en cendres et en azote, pour les racines à l'état frais et à l'état sec, de rechercher l'influence des engrais sur leur valeur nutritive. Le tableau XL qui résume les résultats analytiques, démontre

TABLEAU XL. — Composition des navets de Suède selon les engrais.

| NUMÉROS des parcelles. | NATURE D'ENGRAIS. | POIDS des racines. | EAU POUR 100 par racine. | EAU POUR 100 moyennes | CENDRES. par racine fraîche. | CENDRES. par racine séchée. | AZOTE par racine fraîche. | AZOTE par racine séchée. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | kil. | | | | | moyennes | moyennes |
| 1. | Guano. . . . . . . . . | *a.* 1,218 | 88.717 | | 0.561 | 4.98 | | |
| | | *b.* 0,679 | 87.450 | 87.667 | 0.552 | 4.40 | 0.298 | 2.414 |
| | | *c.* 0,312 | 86.834 | | 0.641 | 4.87 | | |
| 2. | Coprolithes dissous et guano. . . . . . . | *a.* 0,793 | 88.420 | | 0.540 | 1.67 | | |
| | | *b.* 0,425 | 88.600 | 88.484 | 0.518 | 4.81 | 0.278 | 2.417 |
| | | *c.* 0,425 | 88.434 | | 0.512 | 4.43 | | |
| 3. | Poudre d'os . . . . . . | *a.* 0,961 | 88.031 | | 0.568 | 5.20 | | |
| | | *b.* 0,821 | 89.967 | 88.467 | 0.639 | 6.37 | 0.274 | 2.378 |
| | | *c.* 0,310 | 87.400 | | 0.655 | 4.75 | | |
| 4. | Superphosph. de chaux. | *a.* 1,134 | 88.450 | | 0.498 | 4.28 | | |
| | | *b.* 0,736 | 89.284 | 88.556 | 0.516 | 4.82 | 0.255 | 2.233 |
| | | *c.* 0,297 | 88.034 | | 0.589 | 4.93 | | |
| 5. | Engrais économique . . | *a.* 0,964 | 87.717 | | 0.596 | 4.86 | | |
| | | *b.* 0,397 | 88.067 | 87.661 | 0.582 | 4.96 | 0.300 | 2.435 |
| | | *c.* 0,227 | 87.200 | | 0.558 | 4.36 | | |
| 6. | Tourteau de noix . . . | *a.* 1,020 | 87.900 | | 0.534 | 4.42 | | |
| | | *b.* 0,481 | 88.381 | 88.306 | 0.581 | 5.01 | 0.277 | 2.374 |
| | | *c.* 0,255 | 88.634 | | 0.576 | 5.07 | | |
| 7. | Coprolithes dissous . . | *a.* 1,134 | 89.417 | | 0.484 | 4.58 | | |
| | | *b.* 0,779 | 88.117 | 88.578 | 0.628 | 5.29 | 0.263 | 2.301 |
| | | *c.* 0,269 | 88.200 | | 0.554 | 4.70 | | |
| 8. | Sans engrais. . . . . . | *a.* 0,765 | 88.800 | | 0.561 | 5.01 | | |
| | | *b.* 0,340 | 87.460 | 87.803 | 0.559 | 4.16 | 0.338 | 2.770 |
| | | *c.* 0,142 | 87.150 | | 0.627 | 4.88 | | |
| 9. | Engrais de vidange. . . | *a.* 0,736 | 88.917 | | 0.538 | 4.86 | | |
| | | *b.* 0.736 | 88.767 | 88.506 | 0.540 | 4.72 | 0.283 | 2.462 |
| | | *c.* 0,227 | 87.834 | | 0.498 | 4.10 | | |
| 10. | Mélange de suie, guano, coprolithes dissous et superphosphate . . . | *a.* 1,019 | 88.841 | | 0.562 | 5.04 | | |
| | | *b.* 0,850 | 87.131 | 87.376 | 0.532 | 4.12 | 0.321 | 2.518 |
| | | *c.* 0,227 | 86.156 | | 0.654 | 4.73 | | |

que la proportion d'eau et de matière solide est à peu près la même dans les racines de chaque parcelle, quel que soit l'engrais employé. De même, les différences de teneur en eau, suivant le poids des racines, sont insignifiantes. Enfin, le dosage des cendres et de l'azote permet d'affirmer que les navets d'une parcelle ont la même

valeur nutritive que ceux d'une autre ; de telle sorte que l'engrais appliqué n'a pas eu d'effet sur la composition des racines, et l'emploi relativement plus économique du superphosphate, par rapport aux autres engrais essayés, s'affirme de lui-même.

Les conclusions formulées par Vœlcker, en particulier sur le rôle des engrais très azotés par rapport à la composition chimique et à la valeur nutritive des turneps, se sont modifiées plus tard, à la suite de nouvelles et plus récentes expériences dont il a fait l'objet d'un mémoire séparé[1].

La question de l'application des engrais aux turneps et aux racines en général devant être traitée ailleurs, nous nous bornerons à citer ici le passage suivant du mémoire de Vœlcker :

« La nature et la qualité des engrais employés pour la culture des racines, ont une puissante action sur leur composition et leurs propriétés nutritives. Une terre abondamment fumée à l'aide de fumier d'étable provenant de bêtes à l'engrais porte une récolte luxuriante et vigoureuse ; mais si le fumier est trop abondant, il y aura excès de végétation. C'est le cas surtout lorsque le bétail a été nourri de tourteaux et d'aliments du commerce, riches en principes azotés. Que l'automne soit sec et doux, les racines continueront à pousser vigoureusement et le sol fumé comme il a été dit donnera une lourde récolte suffisamment mûre. Que l'automne au contraire soit froid et humide, les racines ne mûriront pas suffisamment, elles resteront aqueuses, peu sucrées, et auront finalement une valeur nutritive moindre que si le sol avait été plus modérément fumé. La cause principale de la non-maturité et de la dépréciation nutritive des racines trop abondamment fumées, est attribuable à l'excès de matières ammoniacales et azotées du fumier. De nombreuses expériences ont démontré que la tendance particulière des sels ammoniacaux et des matières azotées facilement assimilables, est de pousser au développement des feuilles, en prolongeant la croissance vigoureuse des racines, ce qui, sous des climats incertains, revient souvent à produire des racines plus ou moins mûres.

1. *On the composition and nutritive properties of Swedes, etc.* — *Journ. Roy. Agric. Soc. of England*, 1877.

Il y a ainsi danger à fumer trop fortement, et le désir d'obtenir de grosses récoltes entraîne les praticiens à méconnaître ce danger.

« Pour les mêmes motifs, le guano du Pérou, le sulfate d'ammoniaque, le nitrate de soude et les engrais azotés en général doivent être modérément appliqués aux racines, surtout dans les terres fortes. »

Plus loin, Vœlcker ajoute :

« Le but de nos observations sur les effets des divers éléments fertilisants appliqués aux racines, n'est pas de donner des instructions pratiques quant aux engrais les mieux appropriés aux navets de Suède, mais simplement de signaler combien est variable l'action des éléments fertilisants, soit qu'ils avancent ou retardent la maturité, soit qu'ils affectent les propriétés nutritives ou la conservation des racines. »

Pour montrer les différences de composition des navets cultivés dans la même terre et dans les mêmes conditions, mais avec un mélange de vieilles et de jeunes semences, Vœlcker a analysé 12 racines provenant de la même pièce, à l'état naturel et à l'état de siccité.

Le tableau XLI reproduit les données de la composition élémentaire et immédiate de ces 12 racines.

La teneur p. 100 en eau variant entre 83.22 et 89, celle en matières solides varie en conséquence, surtout si l'on se reporte à la composition des racines à l'état sec. Ainsi, le sucre et les composés analogues représentent, à l'état sec, de 48 à 61.7 p. 100; environ la moitié en poids de la substance solide des racines. Dans les composés albuminoïdes, la variation a pour limites 10.3 dans la racine nº 9, et 18 p. 100 dans la racine nº 11. Les cendres n'offrant pas de différences sensibles, il y a lieu de remarquer, d'une part, qu'un haut titre en azote correspond à un faible titre en sucre, et d'autre part, que les racines riches en azote ont une densité moindre que celles plus pauvres en azote et plus saccharifères.

Un excès d'azote dans la composition des navets de Suède, comme pour les autres racines en général, est un indice de leur état de non-maturité et d'une qualité nutritive inférieure. La densité offre un moyen bien simple de constatation. Dans une dissolution de sel marin, par exemple, d'une pesanteur spécifique de 1,035 à 1,038, on

TABLEAU XLI. — Composition des navet

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. |
|---|---|---|---|---|---|
| *Composition élémentaire.* | | | | | |
| Eau | 87.700 | 86.300 | 87.900 | 85.650 | 89.000 |
| Matière sèche | 12.300 | 13.700 | 12.100 | 14.350 | 11.000 |
| | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.050 | 100.000 |
| Eau | 87,700 | 86.300 | 87.900 | 85.650 | 89.0 |
| Matière organique soluble | 8.187 } 8.772 | 9.223 } 9.819 | 8.152 } 8.690 | 9.668 } 10.206 | 7.023 } 7.5 |
| — minérale soluble | 0.585 | 0.626 | 0.538 | 0.538 | 0.507 |
| — organique insoluble | 3.417 } 3.528 | 3.721 } 9.851 | 3.292 } 3.410 | 4.017 } 4.144 | 3.361 } 3.4 |
| — minérale insoluble | 0.111 | 3.130 | 0.112 | 0.271 | 0.109 |
| | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.0 |
| Cendres p. 100 | 0.696 | 0.756 | 0.650 | 0.665 | 0.616 |
| *Composition immédiate.* | | | | | |
| Eau | 87.700 | 86.300 | 87.900 | 85.650 | 89.000 |
| Composés albuminoïdes solubles[1] | 1.494 | 1.413 | 1.682 | 1.518 | 0.850 |
| — — insolubles | 0.200 | 0.218 | 0.243 | 0.225 | 0.212 |
| Sucre, gomme, pectine | 0.693 | 7.810 | 6.470 | 8.150 | 6.173 |
| Fibre digestible et amidon | 2.213 | 2.339 | 1.979 | 2.536 | 2.081 |
| — ligneuse pure | 1.004 | 1.164 | 1.076 | 1.256 | 1.068 |
| Sels solubles | 0.585 | 0.626 | 0.538 | 0.538 | 0.507 |
| — insolubles | 0.111 | 0.130 | 0.112 | 0.127 | 0.109 |
| | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 |
| Contenant azote[1] | 0.271 | 0.261 | 0.308 | 0.279 | 0.170 |
| Égal à composés albuminoïdes | 1.694 | 1.631 | 1.925 | 1.743 | 1.062 |
| Densité des racines | 1.033 | 1.013 | 1.022 | 1.017 | » |

Composition des navet

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. |
|---|---|---|---|---|---|
| *Composition élémentaire.* | | | | | |
| Matière organique soluble | 66.560 } 71.316 | 67.321 } 71.889 | 67.372 } 71.818 | 67.373 } 71.121 | 63.845 } 68.4 |
| — minérale soluble | 4.756 | 4.568 | 4.446 | 3.748 | 4.609 |
| — organique insoluble | 27.780 } 28.684 | 27.160 } 28.111 | 27.256 } 28.182 | 27.992 } 28.879 | 30.554 } 31.5 |
| — minérale insoluble | 0.904 | 0.951 | 0.926 | 0.887 | 0.992 |
| | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.0 |
| Cendres p. 100 | 5.659 | 5.518 | 5.372 | 4.529 | 5.600 |
| *Composition immédiate.* | | | | | |
| Composés albuminoïdes solubles[2] | 12.114 | 10.314 | 13.900 | 10.577 | 7.727 |
| — — insolubles | 1.630 | 1.591 | 2.009 | 1.567 | 1.928 |
| Sucre, gomme, pectine | 54.414 | 57.008 | 53.471 | 56.797 | 56.118 |
| Fibre digestible et amidon | 17.998 | 17.079 | 16.355 | 17.672 | 18.918 |
| — cellulaire pure | 8.163 | 8.490 | 8.892 | 8.759 | 9.709 |
| Sels solubles | 4.748 | 4.570 | 4.446 | 3.743 | 4.609 |
| — insolubles | 0.933 | 0.948 | 0.927 | 0.885 | 0.991 |
| | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 |
| Contenant azote[2] | 2.202 | 1.900 | 2.515 | 1.944 | 1.545 |
| Égal à composés albuminoïdes | 13.772 | 11.900 | 15.868 | 12.146 | 9.654 |

Suède provenant d'un même champ.

| 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 87.350 | 83.220 | 84.400 | 85.500 | 87.650 | 87.400 | 84.150 |
| 12.650 | 16.780 | 15.600 | 14.500 | 12.350 | 12.600 | 15.850 |
| 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 |
| 87.350 | 83.220 | 84.400 | 85.500 | 87.650 | 87.400 | 84.150 |
| .332 / 595 } 8.827 | 11.383 / 0.895 } 12.188 | 10.241 / 0.650 } 10.891 | 8.910 / 0.773 } 9.683 | 8.480 / 0.551 } 9.031 | 8.070 / 0.465 } 8.535 | 10.174 / 0.619 } 10.793 |
| 713 / 110 } 3.823 | 4.463 / 0.129 } 4.592 | 1.584 / 0.125 } 1.709 | 4.673 / 0.144 } 4.817 | 3.211 / 0.105 } 3.116 | 3.933 / 0.132 } 4.065 | 1.909 / 0.148 } 5.057 |
| 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 |
| 0.615 | 0.931 | 0.775 | 0.917 | 0.659 | 0.597 | 0.767 |
| 87.350 | 83.220 | 84.400 | 85.500 | 87.650 | 87.400 | 84.150 |
| 1.544 | 1.713 | 2.075 | 1.206 | 1.244 | 2.019 | 1.468 |
| 0.162 | 0.368 | 0.406 | 0.291 | 0.306 | 0.237 | 0.419 |
| 6.778 | 9.670 | 8.130 | 8.951 | 7.236 | 5.051 | 8.766 |
| 2.388 | 2.787 | 2.935 | 1.713 | 1.827 | 2.407 | 2.970 |
| 1.163 | 1.308 | 1.259 | 1.119 | 1.078 | 1.289 | 1.520 |
| 0.505 | 0.805 | 0.650 | 0.773 | 0.554 | 0.465 | 0.619 |
| 0.110 | 0.129 | 0.125 | 0.144 | 0.105 | 0.132 | 0.148 |
| 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 |
| 0.27 | 0.333 | 0.397 | 0.240 | 0.248 | 0.361 | 0.302 |
| 1.706 | 2.081 | 2.481 | 1.500 | 1.559 | 2.256 | 1.887 |
| 1.012 | 1.016 | » | 1.014 | » | 1.003 | 1.039 |

Suède à l'état sec.

| 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| .787 / .992 } 69.779 | 67.836 / 4.799 } 72.635 | 65.617 / 4.166 } 69.863 | 61.448 / 5.331 } 66.779 | 68.664 / 4.485 } 73.149 | 64.047 / 3.690 } 67.737 | 64.189 / 3.905 } 68.094 |
| .353 / .868 } 30.221 | 26.597 / 0.768 } 27.365 | 29.387 / 0.800 } 30.187 | 32.227 / 0.994 } 33.221 | 26.000 / 0.851 } 26.851 | 31.190 / 1.073 } 32.263 | 30.972 / 0.934 } 31.906 |
| 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 |
| 4.910 | 5.566 | 4.968 | 6.324 | 5.336 | 4.738 | 4.839 |
| 12.206 | 10.298 | 13.301 | 8.317 | 10.072 | 16.238 | 9.261 |
| 1.280 | 2.193 | 2.632 | 2.027 | 2.477 | 1.881 | 2.613 |
| 53.581 | 57.628 | 52.115 | 61.724 | 58.591 | 48.023 | 54.927 |
| 18.877 | 16.609 | 18.816 | 11.813 | 14.796 | 19.047 | 18.758 |
| 9.193 | 7.795 | 7.912 | 9.717 | 8.728 | 10.230 | 9.589 |
| 3.996 | 4.707 | 4.423 | 5.409 | 4.485 | 3.531 | 3.905 |
| 0.867 | 0.770 | 0.801 | 0.993 | 0.851 | 1.047 | 0.937 |
| 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 |
| 2.134 | 1.984 | 2.544 | 1.655 | 2.008 | 2.835 | 1.905 |
| 13.486 | 12.402 | 15.904 | 10.344 | 12.550 | 17.901 | 11.905 |

plonge les racines pouvant servir de porte-graines et celles qui surnagent sont rejetées.

*Maturité et conservation des navets.* — La non-maturité des racines, sans qu'on ait pu encore déterminer le principe qui en est la cause, amène le relâchement des animaux et offre l'inconvénient plus grave encore d'empêcher qu'elles se conservent assez longtemps. De même, lorsque les racines sont trop mûres, elles ne peuvent se garder en tas, sans entrer promptement en fermentation.

L'arrachage des navets doit être opéré, conséquemment, quand la croissance des feuilles a cessé, ou qu'elles dépérissent, et que les bulbes n'ont pas encore atteint leur pleine maturité. Si on a en vue de les conserver jusqu'en mars ou avril, il convient qu'ils soient à peine mûrs, décolletés et parés du pivot. Reste la question de savoir quel est le meilleur procédé de conservation pendant l'hiver et quelles sont les altérations qui en résultent dans les propriétés nutritives ?

Dans ce but, Vœlcker a institué deux séries d'essais dont il a rendu compte [1] :

*1re Série d'essais.* — La première série d'analyses se rapporte à des navets de Suède cultivés par un de ses amis et anciens élèves, James W. Kinder, à Abingdon (dans le comté d'Oxford).

La récolte de navets ayant échappé à la rouille et subi une première gelée le 19 novembre, après laquelle, par un temps doux, la végétation avait repris, était considérée comme à point le 30 novembre suivant :

1° Des racines arrachées à cette date furent soumises directement à l'analyse ;

2° Un lot, après décolletage et nettoyage, fut mis en tas, recouvert de paille et de terre battue comme il est d'usage, avec un trou pour l'aérage ;

3° Un deuxième lot de racines fut mis, sans qu'on eût décolleté les feuilles, dans un silo peu profond et recouvert de terre ;

4° Un troisième lot de racines plantées en terre fut butté ;

5° Un quatrième lot resté en place fut réservé pour suivre les effets de la végétation pendant l'hiver.

---

1. *On the composition and nutritive properties of Swedes and experiments on the Keeping qualities of roots.* 1877.

Les navets du 4e lot plantés en terre ont été analysés les 22 février, 12 mars et 25 avril; les navets buttés du troisième lot, le 12 mars; les navets décolletés et parés du premier lot, les 12 mars et 25 avril; enfin, ceux mis avec leurs feuilles en silo, du 2e lot, les 12 mars et 25 avril.

Nous avons groupé dans le tableau XLII les résultats de ces analyses successives.

Il importe de remarquer que pour le 4e lot des navets restés en terre, les mois de décembre et de janvier ayant été très doux, leur végétation s'est développée. Il en est résulté qu'en février les racines analysées, par rapport à celles de novembre, bien que très saines encore, titraient plus d'eau, sans modification dans la teneur en sucre et en albumine. En mars, de nouvelles feuilles ayant poussé au détriment des matières nutritives assimilables des racines, les têtes analysées indiquent une plus forte teneur en substances azotées que les bulbes, bien que contenant moins d'eau. Enfin, au mois d'avril, les tiges des feuilles, par suite du temps doux, ayant pris de la consistance, on constate par l'analyse la diminution notable de l'azote. Plus de 12 p. 100 des navets restés en terre depuis novembre sont pourris en avril suivant.

Les navets du 3e lot, c'est-à-dire ceux buttés en terre avec leurs feuilles, paraissent avoir le mieux résisté.

Ceux du 2e lot, conservés en silo peu profond, sont très détériorés en mars, au point de vue de leurs qualités nutritives; ils sont aqueux, plus pauvres en sucre, et au mois d'avril, on constate que 5 p. 100 des racines ont pourri.

Enfin les navets du 1er lot, conservés en tas par le procédé ordinaire, indiquent une perte en sucre notable. Au mois d'avril, 80 p. 100 étaient trouvés pourris par suite de la fermentation.

Il n'est pas permis, en raison de la douceur de l'hiver pendant lequel ont eu lieu les essais, de conclure que le buttage des racines munies de leurs feuilles est un mode de conservation préférable à celui de la mise en tas des racines, préalablement décolletées et parées, car dans chaque lot la végétation a continué plus ou moins activement au détriment des matières assimilables contenues dans les bulbes.

*2e Série d'essais.* — Pour se rendre compte des modifications su-

TABLEAU XLII. — Composition des navets suivant la durée de conservation.

| | NAVETS RESTÉS EN TERRE après novembre. | | | | | NAVETS restés en terre, buttés en novemb. | | NAVETS décolletés en tas depuis novembre. | | NAVETS NON DÉCOLLETÉS conservés en fosse depuis novembre. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3 racines. Moyenne. | 3 racines. Moyenne. | 3 racines. Moyenne. | 3 têtes. Moyenne. | 3 racines. Moyenne. | Racines. Moyenne. | Têtes. Moyenne. | 3 racines. Moyenne. | 2 racines. Moyenne. | 1 racine. | 1 tête. | Moyenne de 2 racines. | 3 racines. Moyenne. |
| Dates d'analyse | 30 nov. | 22 févr. | 12 mars. | 12 mars. | 25 avril. | 12 mars. | 12 mars. | 12 mars. | 25 avril. | 12 mars. | 12 mars. | 12 mars. | 25 avril. |
| *Composition immédiate.* | | | | | | | | | | | | | |
| Eau | 89.10 | 90.40 | 90.57 | 87.01 | 90.47 | 91.13 | 86.80 | 90.81 | 90.90 | 92.10 | 90.55 | 91.70 | 93.13 |
| Composés albuminoïdes[1] | 1.50 | 1.08 | 0.92 | 3.21 | 0.80 | 1.09 | 3.38 | 0.99 | 0.77 | 0.77 | 2.56 | 1.04 | 0.81 |
| Sucre | 3.87 | 3.88 | 4.02 | | 3.26 | 3.55 | | 4.01 | 2.56 | 3.30 | | 3.20 | 1.72 |
| Matières pectiques | 0.71 | 0.75 | 0.48 | 8.10 | 0.71 | 0.52 | 8.34 | 0.67 | 0.75 | 0.65 | 5.80 | 0.58 | 0.18 |
| Fibre brute | 4.37 | 3.44 | 3.53 | | 4.14 | 3.27 | | 3.01 | 4.46 | 2.72 | | 3.04 | 3.37 |
| Matières minérales (cendres) | 0.45 | 0.45 | 0.48 | 1.35 | 0.59 | 0.41 | 1.48 | 0.45 | 0.56 | 0.46 | 1.09 | 0.41 | 0.49 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Densité du jus | 1.036 | 1.032 | 1.033 | » | 1.031 | 1.031 | » | 1.029 | 1.027 | 1.021 | » | 1.027 | 1.019 |
| Température du jus (en degrés centigrades) | 11° | 20° | 17° | » | 17° | 17°5 | » | 17·5 | 16°5 | 16°5 | » | 16°5 | 17°5 |
| Poids des racines n° 1, en kilogrammes | 1.068 | 1.154 | 1.026 | 0.155 | 1.288 | 1.005 | 0.177 | 1.352 | 0.765 | 0.807 | 0.134 | » | 1.331 |
| — — n° 2, — | 0.765 | 0.895 | 0.819 | 0.170 | 0.976 | 1.005 | 0.085 | 1.047 | 0.609 | » | » | 0.991 | 0.931 |
| — — n° 3, — | 0.772 | 0.679 | 0.694 | 0.148 | 0.962 | 0.920 | 0.191 | 0.611 | » | » | » | 0.892 | 0.828 |
| Contenant Azote[1] | 0.241 | 0.173 | 0.149 | 0.514 | 0.128 | 0.175 | 0.512 | 0.159 | 0.124 | 0.121 | 0.411 | 0.167 | 0.130 |

bies par les navets pendant la durée de la végétation après maturité, six navets ont été prélevés sur un champ dont les racines jugées mûres avaient été analysées, afin de déterminer leur composition moyenne. Ils ont été replantés, après avoir été pesés, à 0m,60 d'écartement les uns des autres, en date du 20 mars. La première de ces racines, arrachée le 14 avril suivant a été de nouveau pesée et analysée ; la seconde, le 29 avril ; la troisième, le 15 mai ; la quatrième, le 28 mai ; la cinquième, le 4 juillet, et la sixième, le 2 août.

Nous avons résumé dans un seul tableau (XLIII) les données de chaque essai avec les analyses correspondantes, qui permettent, par comparaison, de faire les remarques suivantes.

Dès le 14 avril, on constate qu'une quantité appréciable de matières azotées a passé de la racine dans les feuilles. Outre les 19gr,82 de matière organique sèche que perd la racine, les feuilles assimilent 4gr,54 de cette matière puisée dans l'atmosphère ; en dehors des 0gr,65 de matière minérale perdue par la racine, elles enlèvent 0gr,90 de cette même matière au sol. Toutefois, la plante prise dans son ensemble, racine et feuilles, fait un léger gain d'azote.

Quinze jours plus tard, le poids des feuilles a presque doublé au détriment du bulbe qui a perdu 20 grammes de matière organique sèche et 1gr,21 d'azote, plus 1gr,88 de matière minérale, accumulés dans les feuilles, en même temps qu'une certaine quantité de matière organique empruntée à l'atmosphère et de matière minérale prélevée sur le sol.

Le même travail se poursuit pendant la troisième période jusqu'au 15 mai, et à la fin de la quatrième, le 28 mai, la racine étant devenue très aqueuse, avec perte de 58 grammes de matière organique sèche correspondant à 1gr,81 d'azote, les feuilles contiennent près de 20 p. 100 de matière sèche et seulement 80 p. 100 d'eau.

Pendant la cinquième période se terminant le 4 juillet, la racine perd 33 grammes de matière sèche, avec 1gr,26 d'azote, mais les feuilles absorbent au maximum les matières organiques de la racine et de l'atmosphère, ainsi que les matières minérales du sol. La plante a gagné 99gr,03 de matière organique et 16gr,71 de matière minérale, c'est-à-dire qu'au 4 juillet elle a doublé par rapport à celle plantée le 20 mars.

TABLEAU XLIII. — Composition des navets de Suè

| | MOYENNE 20 mars. Racine. | NAVET N° 1 analysé le 14 avril. | | NAVET N° 2 analysé le 29 avril. | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Racine. | Feuilles. | Racine. | Feuilles. |
| Poids initial du navet le 19 mars. . | » | 1kgr,525 | | 1kgr,589 | |
| — à la date de l'analyse. . . . | » | 1,334 | 0,156 | 1,391 | 0,283 |
| | | 1kgr,490 | | 1kgr,674 | |
| COMPOSITION IMMÉDIATE CENTÉSIMALE. | | | | | |
| Eau. . . . . . . . . . . . . . . | 90.10 | 90.20 | 83.36 | 90.15 | 85.70 |
| Substances albuminoïdes *. . . . . | 1.67 | 0.94 | 4.38 | 1.25 | 3.44 |
| — organiques non azotées. . | 7.68 | 8.23 | 11.25 | 8.05 | 9.82 |
| — minérales (cendres) . . . | 0.55 | 0.63 | 1.01 | 0.55 | 1.04 |
| | 100.00 | 100.00 | 100 00 | 100.00 | 100.00 |
| * Contenant azote. . . . . . . . . | 0.26 | 0.15 | 0.70 | 0.20 | 1.25 |
| COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE. | | | | | |
| *A. — Calculée sur le poids initial d'après la moyenne*[1]. | | grammes. | | grammes. | |
| Matière organique sèche. . . . . . | » | 147,16 | | 154.48 | |
| — renfermant azote. . . . . . | » | 3.88 | | 4.10 | |
| — minérale (cendre). . . . . | » | 9.39 | | 9.85 | |
| *B. — Calculée sur le poids effectif lors de l'analyse.* | | | | | |
| Matière organique sèche. . . . . . | » | 127.34 | 24.35 | 134.40 | 37.5 |
| — renfermant azote. . . . . . | » | 2.07 | 1,10 | 2.89 | 1.5 |
| — minérale (cendre). . . . . . | » | 8.74 | 1 55 | 7.97 | 2.9 |
| Total de matière organique sèche (bulbe et feuilles) . . . . . . . . . | » | 151.69 | | 171.97 | |
| Total d'azote (bulbe et feuilles). . . | » | 3.17 | | 4.44 | |
| — de matière minérale (bulbe et feuilles). . . . . . . . . . . . | » | 10.29 | | 10.92 | |
| Perte en matière organique sèche (racine). . . . . . . . . . . . . | » | 19.82 | » | 20.08 | » |
| Perte en azote (racine) . . . . . . | » | 1.81 | » | 1.21 | » |
| Différence en matière minérale (racine) | » | — 0.65 | » | — 1.88 | » |

1. Composition moyenne centésimale ; 90 eau ; 0,6 matière minérale, et 0,26 azote.

vant la durée de la végétation après maturité.

| NAVET N° 3 analysé le 15 mai. | | NAVET N° 4 analysé le 28 mai. | | NAVET N° 5 analysé le 4 juillet. | | NAVET N° 6 analysé le 2 août. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Racine. | Feuilles. | Racine. | Feuilles. | Racine. | Feuilles. | Racine. | Feuilles. |
| 1kgr,282 | | 1kgr,311 | | 1kgr,126 | | 1kgr,155 | |
| 0,956 | 0,297 | 1,304 | 0,262 | 0,971 | 0,573 | 0,616 | 0.142 |
| 1kgr,253 | | 1kgr,566 | | 1kgr,544 | | 0kgr,758 | |
| 89.85 | 82.60 | 94.00 | 80.20 | 91.75 | 74.25 | 91.40 | 58.43 |
| 1.69 | 4.15 | 0.75 | 2.81 | 1.00 | 3.56 | 1.75 | 4.12 |
| 7.78 | 11.60 | 4.58 | 15.40 | 6.44 | 19.48 | 5.49 | 32.80 |
| 0.68 | 1.65 | 0.67 | 1.59 | 0.86 | 2.71 | 1.36 | 4.65 |
| 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 0.27 | 0.66 | 0.12 | 0.45 | 0.16 | 0.57 | 0.28 | 0.66 |
| grammes. | | grammes. | | grammes. | | grammes. | |
| 120.54 | | 123.13 | | 105.91 | | 108.56 | |
| 3.21 | | 3.27 | | 2.81 | | 2.85 | |
| 7.71 | | 7.90 | | 6.74 | | 6.93 | |
| 88.74 | 46.83 | 64.97 | 47.73 | 72.74 | 132.20 | 44.56 | 63.61 |
| 2.53 | 1.96 | 1.46 | 1.18 | 1.55 | 3.27 | 1.71 | 0.94 |
| 6.35 | 4.92 | 8.16 | 4.14 | 7.90 | 15.55 | 8.42 | 6.61 |
| 135.57 | | 112.70 | | 204.94 | | 108.17 | |
| 4.49 | | 2.64 | | 4.82 | | 2.65 | |
| 11.27 | | 12.30 | | 23.45 | | 15.03 | |
| 31.80 | » | 58.17 | » | 33.17 | » | 64.00 | » |
| 0.68 | » | 1.81 | » | 1.26 | » | 1.14 | » |
| 1.36 | » | + 0.26 | » | + 1.16 | » | + 1.49 | » |

Enfin, dans la sixième période close le 2 août, la racine étant très aqueuse, les feuilles très sèches, les pousses tendres ont dû tomber, de telle sorte que l'analyse n'indique pas exactement le montant des matières organiques et minérales accumulées dans la plante depuis le 20 mars. Cependant la racine avait perdu, le 2 août, 64 grammes de matière organique, soit deux tiers environ de la substance transportée dans les feuilles.

Il est clairement démontré par ces résultats que pendant la durée du développement des navets, passé la maturité, les feuilles se développent au préjudice des matières assimilables contenues dans les bulbes et les racines perdent en poids comme en qualité nutritive.

*Navets atteints de maladie* (*anbury*). — Dans les sols sablonneux et légers, les navets de Suède sont plus sujets que dans les terres fortes , à une maladie que les Anglais désignent sous le nom de *anbury* et qui consiste en déformations extraordinaires des racines, accompagnées de tubérosités. Les feuilles, dès le premier sarclage, deviennent flasques, et la substance réduite des racines, semblable en apparence à celle du navet sain, acquiert un goût âcre qui les fait laisser de côté par les moutons.

On attribuait cette maladie à l'absence de chaux dans le sol, mais comme elle sévit également dans les terres abondamment pourvues de chaux, et même dans des terrains calcaires, à 30 ou 40 p. 100 de chaux, il y a lieu de chercher une autre cause que celle admise par les praticiens. Vœlcker a mis à profit la présence de la maladie dans une pièce très sablonneuse, renfermant peu d'argile et de gravier calcaire, située à un niveau élevé dans une ferme de Ashton-Keynes, près de Cirencester, pour se rendre compte du phénomène[1]. Sauf sur deux points isolés, tous les navets de la pièce étaient contaminés, à un point tel que le fermier avait renoncé à y envoyer parquer les moutons. Les racines fourchues et tordues d'une manière fantastique étaient en outre recouvertes d'une foule d'excroissances en forme de verrues.

Les analyses de deux échantillons du sol prélevés sur deux points différents, l'un sableux, de couleur brune, l'autre ferrugineux, de cou-

1. *Anbury and the analysis of diseased turnips,* juin 1859.

leur rouge, et d'un échantillon du sous-sol ferrugineux, montrent que si l'oxyde de fer est abondant, la chaux est absolument insuffisante pour subvenir aux besoins d'une récolte de turneps. Il est hors de doute que l'absence de la chaux est la cause principale de la mauvaise récolte, car sur les deux points isolés de la même pièce où les navets avaient réussi, Vœlcker a retrouvé les indices d'une fumure faite l'année précédente à l'aide d'engrais calcaire et de chaux ammoniacale provenant d'une usine à gaz. L'analyse du sol prélevé sur ces deux points lui a démontré d'ailleurs que la chaux y était en quantité bien supérieure à celle constatée dans le reste de la pièce.

Les diverses analyses de sols sont consignées dans la note [1] en bas de la page.

Quant aux racines, la composition a été déterminée d'une part, sur un navet entier des plus détériorés, et d'autre part, sur un navet dont le corps avait été séparé de ses tubérosités, et sur les tubérosités elles-mêmes. Le tableau XLIV résume les trois analyses de racines malades.

Par comparaison avec la composition des navets sains, on constate que les navets atteints de la maladie sont plus riches en azote et en matières minérales. La racine n° 1, la plus malade, contient environ la même quantité d'azote que les excroissances de la racine n° 2; c'est-à-dire plus du double de celle que renferment les racines saines; ce qui confirme l'opinion des praticiens à l'égard des racines pauvres ou sans valeur, généralement plus riches en azote.

Note 1.

| *Analyses de sols desséchés à 100 degrés centigrades.* | SOL | | SOUS-SOL | SOL FUMÉ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | sableux. | ferrugineux. | ferrugineux. | à la chaux de gaz. | avec engrais calcaire. |
| Matière organique et eau | 5.36 | 4.82 | 7.64 | 1.15 | 1.24 |
| Oxydes de fer et alumine | 5.78 | 12.16 | 22.77 | 4.01 | 1.98 |
| Carbonate de chaux | 0.25 | 0.15 | 0.44 | 1.77 | 0.93 |
| Sels alcalins et magnésie | 0.41 | 0.46 | 0.69 | 1.12 | 0.69 |
| Acide phosphorique | traces | traces | traces | » | » |
| Acide sulfurique | 0.08 | » | » | » | » |
| Matières insolubles (sable) | 88.12 | 82.41 | 68.46 | 88.95 | 89.16 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

TABLEAU XLIV. — Composition des navets malades (*anbury*).

| | RACINE ENTIÈRE très malade (n° 1). | | RACINE MALADE (n° 2). CORPS. | | RACINE MALADE (n° 2). TUBÉROSITÉS. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | État naturel. | État sec. | État naturel. | État sec. | État naturel. | État sec. |
| Eau . . . . . . . . . . . . | 88.02 | » | 89.50 | » | 86.70 | » |
| Matières protéiques assimilables[1]. | 3.56 | 29.55 | 2.34 | 22.37 | 3.96 | 29.81 |
| Fibre ligneuse. . . . . . . . | 3.27 | 27.29 | » | » | » | » |
| Sucre, gomme, pectine, etc. . . | 3.67 | 30.79 | » | » | » | » |
| Matières non azotées combustibles . . . . . . . . . . | » | » | 7.13 | 67.77 | 8.06 | 60.56 |
| Matières minérales. . . . . . | 1.48 | 12.37 | 1.03 | 9.86 | 1.28 | 9.63 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Contenant azote[1] . . . . . . | 0.57 | 4.76 | 0.37 | 3.58 | 0.63 | 4.77 |

E. — *Courge pour bétail* (*cattle melon*).

La courge a été introduite à plusieurs reprises, en remplacement de la betterave ou des turneps, pour la nourriture des bestiaux en hiver; mais sa valeur nutritive, conformément aux analyses que Vœlcker a faites, tableau XLV, est de beaucoup inférieure à celle des mangolds. La teneur en eau des courges, est naturellement variable, comme celle des autres plantes à racine succulente, mais elle surpasse notablement celle des mangolds et se rapproche plutôt de celle des navets blancs (turneps) [1].

F. — *Chou-rave* (*kohl-rabi*).

Le chou-rave ou kohl-rabi des Anglais offre le grand avantage sur les autres crucifères de résister à la gelée et de s'approprier à la nourriture des agneaux mieux que les turneps et que tout autre fourrage vert. Avec les soins voulus, on peut amener le chou-rave à

1. *Annual report,* décembre 1864.

bonne maturité jusqu'à l'agnelage, et même au cas où à cette époque les racines germeraient abondamment au détriment de la matière nutritive, il n'y aurait pas lieu de regretter d'avoir réservé une ou plusieurs pièces en choux-raves, au lieu de turneps, car les feuilles et les pousses, contrairement à ce qui a lieu pour les navets et les raves, sont très nourrissantes et rappellent beaucoup plus le goût et les qualités du chou.

**TABLEAU XLV. — Composition moyenne de la courge.**

| | N° 1. | N° 2. |
|---|---|---|
| Eau | 92.030 | » |
| Matières organiques | 7.350 | » |
| Matières minérales (cendres) | 0.620 | » |
| | 100.000 | » |
| Eau | 92.030 | 90.66 |
| Composés d'albuminoïdes solubles [1] | 0.619 | 1.66 |
| Composés albuminoïdes insolubles [2] | 0.156 | |
| Sucre et mucilage | 4.661 | 5.74 |
| Fibre ligneuse | 1.914 | 1.17 |
| Matières minérales solubles | 0.540 | » |
| Matières minérales insolubles | 0.080 | 0.77 |
| | 100.000 | 100.00 |
| Contenant azote [1] | 0.099 | » |
| Contenant azote [2] | 0.025 | » |
| Azote total [3] | 0.124 | 0.265 |
| Correspondant à matières protéiques assimilables [3] | 0.775 | » |

Vœlcker a publié les analyses de deux variétés de chou-rave, à tête verte et à tête pourpre, à l'état naturel et à l'état sec [1], que l'on trouvera tableau XLVI.

1. *On the composition of two varieties of kohl-rabi and of cattle cabbage.* Juin 1860.

TABLEAU XLVI. — Composition du chou-rave (*kohl-rabi*).

| | CHOU-RAVE à tête verte. | | CHOU-RAVE à tête pourpre. | |
|---|---|---|---|---|
| | État frais. | Séché à 100 degrés. | État frais. | Séché à 100 degrés. |
| *Composition élémentaire.* | | | | |
| Eau | 86.020 | » | 89.002 | » |
| Matières solubles dans l'eau | 9.260 | » | 7.588 | » |
| Matières insolubles dans l'eau | 4.720 | » | 3.410 | » |
| | 100.000 | » | 100.000 | » |
| *Composition immédiate.* | | | | |
| Eau | 86.020 | » | 89.002 | » |
| Huile | 0.227 | 1.623 | 0.177 | 1.609 |
| Matières protéiques solubles [1] | 2.056 | 14.706 | 2.006 | 18.239 |
| Sucre, gomme et pectine | 6.007 | 42.968 | 4.486 | 40.789 |
| Sels solubles dans l'eau | 0.970 | 6.938 | 0.919 | 8.356 |
| Matières protéiques insolubles [2] | 0.300 | 2.145 | 0.269 | 2.445 |
| Fibre digestible et composés insolubles de pectine | 2.993 | 21.409 | 1.896 | 17.239 |
| Fibre ligneuse (cellulose) | 1.230 | 8.798 | 1.106 | 10.056 |
| Matières minérales insolubles | 0.197 | 1.409 | 0.139 | 1.263 |
| | 100.000 | 99.996 | 100.000 | 99.996 |
| 1. Contenant azote | 0.329 | 2.353 | 0.321 | 2.918 |
| 2. Contenant azote | 0.048 | 0.343 | 0.043 | 0.390 |
| Azote total | 0.377 | 2.696 | 0.364 | 3.309 |
| Cendres p. 100 | 1.167 | 8.347 | 1.058 | 9.619 |

Bien que la variété à tête pourpre renferme plus d'eau que l'autre, il n'y aurait pas lieu d'en conclure à son infériorité, au point de vue alimentaire. C'est le fait de l'échantillon soumis à l'analyse : on sait du reste que la proportion d'eau dans des racines provenant de la même pièce de terre varie beaucoup.

En comparant avec les analyses des navets de Suède, des mangolds et des turneps, la composition du kohl-rabi, on reconnaît que

sa valeur nutritive surpasse théoriquement celle des turneps, et égale au moins celle des navets de Suède et des mangolds. Il resterait pour

TABLEAU XLVII. — Composition du chou cultivé.

| | FEUILLES extérieures. | | FEUILLES intérieures. | |
|---|---|---|---|---|
| *Composition élémentaire.* | État frais. | État sec. | État frais. | État sec. |
| Eau | 83.72 | » | » | » |
| Matière sèche { Composés protéiques[1] | 1.65 | 10.19 | » | » |
| Matière sèche { Matière non azotée | 13.38 | 82.10 | » | » |
| Matière sèche { — minérale | 1.25 | 7.71 | » | » |
| | 100.00 | 100.00 | » | » |
| 1. Contenant azote | 0.26 | 1.63 | » | » |
| Eau | » | » | 89.42 | » |
| Matière organique soluble | » | » | 6.20 | 18.60 |
| — minérale — | » | » | 0.73 | 6.89 |
| — organique insoluble | » | » | 3.53 | 33.36 |
| — minérale — | » | » | 0.12 | 1.15 |
| | » | » | 100.00 | 100.00 |
| *Composition immédiate.* | | | | |
| Eau | » | » | 89.42 | » |
| Huile | » | » | 0.08 | 0.75 |
| Composés protéiques solubles[2] | » | » | 1.19 | 11.24 |
| Sucre, fibre digestible, etc. | » | » | 7.01 | 66.25 |
| Matière minérale soluble | » | » | 0.73 | 6.89 |
| Composés protéiques insolubles[3] | » | » | 0.31 | 2.93 |
| Fibre ligneuse | » | » | 1.14 | 10.77 |
| Matières minérales insolubles | » | » | 0.12 | 1.17 |
| | » | » | 100.00 | 100.00 |
| 2. Contenant azote | » | » | 0.19 | 1.79 |
| 3. Contenant azote | » | » | 0.05 | 0.47 |

l'affirmer pratiquement à faire des expériences de nourriture sur les animaux. En tous cas, les vaches laitières y trouvent un excellent

aliment : le lait est bon et abondant, et le beurre acquiert une saveur agréable, à l'encontre de celle que donnent les turneps.

### 5. Plantes fourragères non légumineuses.

#### A. — *Chou cultivé.*

Le chou (*cattle cabbage*) cultivé comme plante fourragère sur la ferme dépendant du collège agricole de Cirencester, a été analysé par Vœlcker, en tenant compte que les feuilles extérieures renferment beaucoup moins d'eau que celles de l'intérieur ou du cœur [1].

Il ressort de la composition présentée dans le tableau XLVII que les choux renferment à peu près les mêmes proportions d'eau, de sucre et de matières protéiques que les navets de Suède de bonne qualité. Poids pour poids, leur valeur alimentaire serait la même. Sur les terres pauvres de Cirencester on récolte, année ordinaire, 38 tonnes de navets à l'hectare ; et dans les mêmes conditions 44 tonnes de chou ; mais dans les meilleures terres, le rendement est bien plus élevé.

#### B. — *Chou-fleur.*

Cette composition est utilement complétée par celle que Vœlcker avait donnée précédemment du chou comparé au chou-fleur [2] (tableau XLVIII).

Il résulte de ces analyses que les choux, comme les choux-fleurs, sont très riches en principes assimilables. Aucun fourrage vert, cultivé en grand, ne renferme autant de matières nutritives que le chou. Il est en même temps succulent et convient admirablement aux vaches laitières qui, grâce à un mélange de foin, y trouvent abondance et richesse de lait. Sous ce rapport, il y aurait un sérieux intérêt à développer, parallèlement à celle des turneps, la culture du chou.

1. *On the composition of two varieties of kohl-rabi and of cattle cabbage*, juin, 1860.
2. *Chemistry of food*, 1856.

TABLEAU XLVIII. — Composition du chou et du chou-fleur.

| Composition élémentaire. | CHOU. | | CHOU-FLEUR. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | FEUILLES. | | FLEURS. | |
| | État frais. | État sec. | État frais. | État sec. | État frais. | État sec. |
| Eau | 86.28 | » | 89.01 | » | 88.600 | » |
| Matières solubles. Matières organiques | 6.26 | 45.62 | 5.57 | 50.53 | 5.786 | 50.70 |
| Matières solubles. — minérales (cendre) | 1.61 | 11.74 | 0.69 | 6.40 | 0.710 | 6.60 |
| Matières insolubl. Matière végétale (fibre) | 5.59 | 40.74 | 4.57 | 41.57 | 4.760 | 41.70 |
| Matières insolubl. — inorganique (cendre) | 0.26 | 1.90 | 0.16 | 1.50 | 0.114 | 1.00 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.000 | 100.00 |
| Eau | 86.28 | » | 89.01 | » | 88.600 | » |
| Principes assimilables | 4.75 | 34.68 | 3.61 | 32.43 | 3.844 | 33.80 |
| Principes combustibles | 7.10 | 51.68 | 6.53 | 59.67 | 6.702 | 58.60 |
| Matières minérales (cendre) | 1.87 | 13.64 | 0.85 | 7.90 | 0.854 | 7.60 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.000 | 100.00 |

C. — *Navette d'hiver* (*Rape*).

La navette, comme fourrage, participe aux avantages décrits pour le chou et le *kohl-rabi*, c'est-à-dire qu'elle apporte une nourriture verte en hiver et au commencement du printemps, avant l'apparition des fourrages nouveaux et qu'elle est recherchée par les bestiaux, les vaches laitières, les bêtes à laine, et plus particulièrement par les brebis nourrices et leurs agneaux.

Vœlcker a fait de la navette (*rape*) une analyse complète, à l'état naturel et à l'état sec, ainsi que des cendres ; nous reproduisons cette composition d'après ses mémoires de 1854 et de 1856[1] dans le tableau XLIX :

1. *On the composition of green rye and rape; — Transact. of highl. and Agric. Soc. of Scotland,* juillet 1854 ; et *On the chemistry of food ; — Bath and west of England Agric. journal,* 1856.

**TABLEAU XLIX. — Composition de la navette d'hiver.**

| | NAVETTE. | |
|---|---|---|
| | État naturel. | État sec. |
| *Composition immédiate.* | | |
| Eau | 87.050 | » |
| Matière solide (12,950) | » | » |
| Fibre ligneuse | 3.560 | 27.490 |
| Cendre unie à la fibre | 0.432 | 3.335 |
| Composés albuminoïdes insolubles | 1.493 | 11.529 |
| Albumine soluble | 1.640 | 12.664 |
| Gomme et pectine | 1.729 | 13.351 |
| Sels insolubles dans l'alcool | 0.990 | 7.645 |
| Sucre | 2.218 | 17.622 |
| Sels solubles dans l'alcool | 0.186 | 1.435 |
| Matières grasses et chlorophylle | 0.649 | 5.016 |
| | 99.947 | 99.587 |
| Eau | 87.050 | » |
| Matières azotées (assimilables) | 3.133 | 24.193 |
| Matières non azotées : | | |
| *a.* Fibre ligneuse | 3.560 | 27.490 |
| *b.* Matières grasses | 0.649 | 5.016 |
| *c.* — combustibles (respiratoires) | 4.000 | 30.886 |
| Matières inorganiques (cendre) | 1.608 | 12.415 |
| | 100.000 | 100.000 |

La proportion d'eau varie dans les fanes, les tiges et les racines fraîches, suivant la végétation de la plante, comme l'indiquent les déterminations suivantes :

| | PROPORTION D'EAU P. 100 | | |
|---|---|---|---|
| | dans les fanes. | dans les tiges. | dans la racine. |
| 1. | 88.99 | 94.77 | 78.54 |
| 2. | 86.90 | 90.08 | 86.37 |
| 3. | 88.72 | » | » |
| 4. | 87.20 | » | » |
| 5. | 87.05 | » | » |
| 6. | 85.25 | » | » |
| 7. | 85.52 | » | » |
| Moyennes. | 87.09 | 92.42 | 82.45 |

La teneur, en cendres et en azote, des composés protéiques varie également, comme il ressort des dosages correspondants.

| | TENEUR EN CENDRES P. 100. | | | TENEUR EN AZOTE P. 100. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fanes fraîches. | Tiges fraîches. | Racines fraîches. | Fanes sèches. | Tiges sèches. | Racines sèches. |
| 1. . . . . . . . | 1.27 | 1.25 | 1.84 | 3.31 | 1.14 | 1.72 |
| 2. . . . . . . . | 1.60 | 1.15 | 1.66 | 3.41 | 1.00 | 1.86 |
| 3. . . . . . . . | 1.63 | » | » | 3.87 | » | » |
| 4. . . . . . . . | 1.43 | » | » | 3.49 | » | » |
| 5. . . . . . . . | 1.60 | » | » | 3.54 | » | » |
| 6. . . . . . . . | 2.17 | » | » | 4.02 | » | » |
| 7. . . . . . . . | 1.91 | » | » | 3.45 | » | » |
| Moyennes. . | 1.66 | 1.20 | 1.75 | 3.58 | 1.07 | 1.79 |

Les fanes de navette contiennent une quantité notable de soufre et de phosphore, dans un état de combinaison organique particulier. M. Faber, élève de Vœlcker, a dosé ces corps dans la matière sèche de deux échantillons de navette :

| | 1. | 2. | MOYENNE. |
|---|---|---|---|
| Soufre . . . . . . . . . . . . . | 0.79 | 0.87 | 0.83 |
| Phosphore. . . . . . . . . . . . | 0.84 | 0.73 | 0.76 |

de même que les cendres de la plante :

**Composition des cendres de navette.**

| | |
|---|---|
| Potasse . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 31.51 |
| Chlorure de potassium. . . . . . . . . . | 5.88 |
| — de sodium . . . . . . . . . . . | 0.82 |
| Chaux. . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 16.97 |
| Magnésie . . . . . . . . . . . . . . . . | 1.58 |
| Oxyde de fer. . . . . . . . . . . . . . . | 1.27 |
| Acide sulfurique . . . . . . . . . . . . | 12.54 |
| — phosphorique . . . . . . . . . . . | 9.40 |
| Silice soluble. . . . . . . . . . . . . . | 2.04 |
| Acide carbonique . . . . . . . . . . . . | 12.78 |
| Sable. . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 4.32 |
| Charbon et perte . . . . . . . . . . . . | 0.89 |
| | 100.00 |

La navette, d'après sa composition chimique, accuse non seulement une grande richesse en matières protéiques, mais aussi en matières grasses et huileuses. Ces dernières extraites par l'éther sont semi-fluides, de couleur verdâtre et d'une odeur qui rappelle celle de la graine de colza.

Les fanes fraîches, on le remarquera, renferment plus d'un demi p. 100 de ces matières grasses; aucun fourrage vert n'en offre autant, ce qui explique l'efficacité de la navette pour l'engraissement des bêtes à laine sur place, ou du bétail à l'étable, etc.

La navette enlève au sol beaucoup de potasse, puis de la chaux, des acide sulfurique et phosphorique, et en somme une proportion relativement considérable de matières minérales. Aussi exige-t-elle, sinon une terre riche, du moins une terre de fertilité moyenne et substantielle. Une récolte intercalaire de navette, sur un sol moyen ou riche, offre au fermier une masse alimentaire pour les animaux, plus profitable qu'une récolte de turneps; sur une terre pauvre il y a lieu d'y renoncer.

D'une croissance rapide, la navette semée en juillet et éclaircie jusqu'à 35 et 40 centimètres, dans les lignes espacées de 70 centimètres, pousse avec un feuillage dru, abondant, qui peut être fauché à plusieurs reprises et donné aux animaux. Les têtes et les feuilles latérales étant coupées, de jeunes fanes partent des tiges et fournissent une nouvelle coupe. Depuis novembre jusqu'en mars, au moment où les plantes commencent à fleurir, ce fourrage productif continue, avec le plus grand profit, à remplacer les turneps, les mangolds et les choux[1].

### D. — *Moutarde blanche.*

La moutarde blanche est une autre crucifère susceptible de fournir une précieuse récolte intercalaire comme fourrage vert pour les moutons. Elle croît rapidement, et peut se semer, selon que l'assolement le permet, de février jusqu'en septembre. Vœlcker a déterminé sa composition centésimale[2] (tableau L).

1. *Turnips versus rape ; — the Farmer's magazine,* 1867, t. II.
2. *On the chemistry of food,* p. 41, 1856.

TABLEAU L. — Composition de la moutarde blanche.

| | ÉTAT NATUREL. | ÉTAT SEC. |
|---|---|---|
| Eau | 87.40 | » |
| Matières organiques solubles | 6.70 | 53.18 |
| — minérales solubles | 1.81 | 14.36 |
| — organiques insolubles (fibre) | 3.86 | 30.63 |
| — minérales insolubles (cendres) | 0.23 | 1.83 |
| | 100.00 | 100.00 |
| Eau | 87.400 | » |
| Principes assimilables | 3.287 | 26.12 |
| — non azotés, combustibles | 7.273 | 57.69 |
| Matières minérales (cendres) | 2.040 | 16.19 |
| | 100.000 | 100.00 |

Si la moutarde blanche, à l'état vert, renferme beaucoup d'eau et plus de matières solubles en proportion que les autres fourrages verts, elle est très riche en principes assimilables qui lui donnent une haute valeur nutritive.

E. — *Seigle vert.*

Le seigle fourrage, cultivé comme récolte intercalaire, fournit au printemps une nourriture précieuse qui a fait l'objet des premières analyses de Vœlcker [1]. Deux échantillons prélevés sur un sol calcaire à Cirencester et soumis à l'essai, lui ont fourni la composition suivante, tableau LI, pour le seigle coupé en vert, et calculée à l'état de siccité.

D'après sa composition, la valeur nutritive du seigle vert se rapprocherait de celle du ray-grass d'Italie, mais serait inférieure à celle du trèfle.

1. *On the composition of green rye and rape; — Transact. of the highland and Agric. Soc. of Scotland,* 1854.

**TABLEAU LI. — Composition du seigle fourrage.**

| | SEIGLE VERT. | | | |
|---|---|---|---|---|
| | N° 1. | | N° 2. | |
| | État naturel. | Calculé sec. | État naturel. | Calculé sec. |
| *Composition élémentaire.* | | | | |
| Eau. . . . . . . . . . . . . . . . . | 79.230 | » | 75.423 | » |
| Matières inorganiques (cendres). . . . . | 1.778 | 8.633 | 1.538 | 6.259 |
| — azotées (assimilables) . . . . | 3.093 | 14.891 | 2.701 | 11.002 |
| — non azotées (combustibles) . . | 15.899 | 76.476 | 20.335 | 82.739 |
| | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 |
| *Composition immédiate.* | | | | |
| Eau . . . . . . . . . . . . . . . . | 79.405 | » | 7.423 | » |
| Fibre cellulaire . . . . . . . . . . | 8.579 | 41.454 | 10.488 | 42.674 |
| Cendre unie à la fibre. . . . . . . . | » | » | 0.418 | 1.701 |
| Albumine soluble . . . . . . . . . | 2.357 | 11.444 | 1.811 | 7.369 |
| Matières protéiques insolubles . . . . | 0.736 | 3.775 | 0.894 | 3.638 |
| Gomme et pectine . . . . . . . . . | 6.253 | 30.362 | 4.449 | 18.102 |
| Sucre . . . . . . . . . . . . . . . | | | 4.685 | 19.062 |
| Matières grasses. . . . . . . . . . | 0.892 | 4.332 | 0.892 | 3.628 |
| Sels insolubles dans l'alcool . . . . . | » | » | 0.572 | 2.327 |
| Sels solubles dans l'alcool . . . . . . | » | » | 0.368 | 1.499 |
| Matières inorganiques (cendres) . . . . | 1.778 | 8.633 | » | » |
| | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 |

F. — *Maïs fourrage.*

La culture du maïs dépend en grande mesure du climat; elle exige un été court, mais très chaud; c'est ce qui fait que le maïs peut être cultivé avec succès dans le nord de l'Allemagne, où l'on est presque toujours sûr d'avoir trois semaines de fortes chaleurs. Il n'en est pas de même en Angleterre. On a essayé la culture du maïs dans le comté de Gloucester sans succès. Dans certaines années exceptionnelles, ce fourrage pourrait bien venir, mais ce n'est pas la règle, et Vœlcker considère que c'est une faute de chercher à introduire le maïs comme fourrage en Angleterre [1].

1. *The Farmer's magazine,* 30e vol., 3e série, 1866, t. II.

### 6. Plantes légumineuses et foin de prairies artificielles.

Parmi les plantes légumineuses propres à former des prairies artificielles, Vœlcker, après Way et Anderson, a examiné la composition de diverses espèces de trèfle, du sainfoin, de la luzerne, de la vesce et du plantain [1].

Nous nous bornerons à reproduire, tableau LII, les analyses de Vœlcker, celles de Way ayant été publiées dans le *Journal de la Société royale d'agriculture d'Angleterre* en 1853, et celles d'Anderson dans les *Transactions* de la *Highland Society*, également en 1853.

Les plantes soumises à l'analyse provenaient de petites plates-bandes disposées dans une même pièce restée sans fumure, à Cirencester ; elles avaient été récoltées en août et en septembre, au moment de leur entrée en floraison.

A. — *Trèfle.*

La proportion d'eau p. 100 dans le trèfle frais, et celle des matières assimilables dans le trèfle sec, ne varient pas seulement pour la même espèce, comme le montre le rapprochement des chiffres obtenus par les divers analystes, mais elles impliquent, quand on compare les diverses espèces, une divergence dans la valeur nutritive qu'il y a lieu de justifier. Vœlcker est porté à croire que la qualité du trèfle ne dépend pas autant de la variété cultivée que de l'époque à laquelle il est fauché et de la nature du sol où il vient. Il est certain que telle variété de trèfle se plaît davantage et acquiert une valeur nutritive plus grande dans un sol approprié que dans un autre ; de même, l'époque de la coupe exerce une grande influence sur cette valeur, car le trèfle jeune contient plus de matières assimilables et moins de fibre ligneuse que le trèfle vieilli sur place.

*Racines du trèfle.* — Dans les recherches que Vœlcker a décrites sur les causes des avantages que procure le trèfle dans l'assolement, comme récolte préparatoire du froment, et que nous résumerons

1. *Journal of Highland Society*, juillet 1853 ; et *On the chemistry of food*, 1856.

TABLEAU LII. — Composition des légumineuses de prairies artificielles.

| | TRÈFLE | | | | | LUZERNE. | SAINFOIN. | VESCE. | PLANTAIN. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | rouge. I. | blanc. II. | jaune. III. | alsike. IV. | bokhara. V. | VI. | VII. | VIII. | IX. |
| *Composition à l'état naturel.* | | | | | | | | | |
| Eau | 80.64 | 83.65 | 77.57 | 76.67 | 81.30 | 73.41 | 77.32 | 82.16 | 80.79 |
| Matières organiques solubles | 6.35 | 4.98 | 8.26 | 4.91 | 6.80 | 9.43 | 8.00 | 6.07 | 8.38 |
| Matières minérales solubles | 1.55 | 1.13 | 1.40 | 1.33 | 1.54 | 2.33 | 1.20 | 1.07 | 1.26 |
| Matières organiques insolubles (fibre végétale) | 11.04 | 9.80 | 12.17 | 16.36 | 10.01 | 11.08 | 12.95 | 10.23 | 9.00 |
| Matières minérales insolubles | 0.42 | 0.11 | 0.60 | 0.73 | 0.35 | 0.75 | 0.53 | 0.17 | 0.57 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Eau | 80.640 | 83.65 | 77.570 | 76.670 | 81.300 | 73.41 | 77.320 | 82.16 | 80.790 |
| Principes assimilables | 3.606 | 4.52 | 4.881 | 4.825 | 3.281 | 4.40 | 3.512 | 3.56 | 2.481 |
| Principes combustibles | 13.784 | 10.26 | 15.949 | 16.445 | 13.529 | 19.11 | 17.438 | 12.74 | 14.899 |
| Matières minérales (cendres) | 1.970 | 1.57 | 2.000 | 2.060 | 1.890 | 3.08 | 1.730 | 1.51 | 1.830 |
| | 100.000 | 100.00 | 100.000 | 100.00 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.00 | 100.000 |
| *Composition à l'état sec.* | | | | | | | | | |
| Matières organiques solubles | 32.79 | 30.46 | 36.83 | 21.05 | 36.36 | 35.47 | 35.28 | 34.02 | 43.64 |
| Matières minérales solubles | 8.01 | 6.91 | 6.24 | 5.70 | 8.23 | 8.76 | 5.29 | 5.99 | 6.55 |
| Matières inorganiques insolubles (fibre végétale) | 57.02 | 59.91 | 54.26 | 70.13 | 53.53 | 52.95 | 57.09 | 57.35 | 46.85 |
| Matières minérales inorganiques insolubles | 2.18 | 2.69 | 2.67 | 3.12 | 1.88 | 2.82 | 2.34 | 2.64 | 2.96 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Principes assimilables | 18.64 | 28.31 | 20.00 | 20.69 | 17.56 | 16.56 | 15.50 | 20.00 | 12.94 |
| Principes combustibles | 71.17 | 62.09 | 71.09 | 70.49 | 72.33 | 71.86 | 76.87 | 71.37 | 77.55 |
| Matières minérales (cendres) | 10.19 | 9.60 | 8.91 | 8.82 | 10.11 | 11.58 | 7.63 | 8.63 | 9.51 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

plus tard, il a été conduit à déterminer la composition des racines du trèfle rouge sur des parcelles appartenant à différents sols préalablement analysés, eu égard à la qualité même du trèfle et au nombre de coupes. Nous reproduisons ces analyses dans le tableau LIII.

TABLEAU LIII. — Composition des racines de trèfle rouge.

| État des racines analysées. | RACINES DE TRÈFLE. (1re année.) I. Bonne qualité. | RACINES DE TRÈFLE. (1re année.) I. Qualité inférieure. | RACINES DE TRÈFLE. (2e année.) II. Bonne qualité. | RACINES DE TRÈFLE. (2e année.) II. Qualité inférieure. | RACINES après 2 coupes de trèfle. III. | RACINES après 1 coupe de trèfle laissé pour graine. IV. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fraîches. | | Séchées au bain-marie. | | Séch. à 100 deg. cent. | |
| Eau | 44.675 | 55.732 | 5.06 | 4.34 | » | » |
| Matière organique[1] | 49.236 | 39.408 | 31.94 | 26.53 | 81.33 | 64.66 |
| — minérale | 6.089 | 4.860 | 63.00 | 69.13 | 18.67 | 35.24 |
| | 100.000 | 100.000 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 1.297 | 0.792 | 0.804 | 0.816 | 1.635 | 1.702 |
| Égal à ammoniaque | 1.575 | 0.901 | » | 0.991 | 1.985 | 2.066 |

Composition des cendres de racines de trèfle rouge (imparfaitement nettoyées).

| | |
|---|---|
| Oxyde de fer et alumine | 11.73 |
| Chaux | 18.49 |
| Magnésie | 3.03 |
| Potasse | 6.88 |
| Soude | 1.93 |
| Acide phosphorique | 3.61 |
| Acide sulfurique | 2.24 |
| Silice soluble | 19.01 |
| Silice insoluble | 24.83 |
| Acide carbonique, chlore et perte | 8.25 |
| | 100.00 |

Le trèfle dont les racines sont analysées dans les colonnes I et II avait été récolté deux années de suite dans la même pièce, en deux

points différents, là où il était de bonne venue et de bonne qualité, et là où il était maigre et clairsemé. Le sol argilo-calcaire reposait sur du calcaire oolithique à une profondeur variable ; il était assez pierreux. Le trèfle dont les racines sont analysées dans la colonne III avait été fauché deux fois, le 25 juin et le 21 août, ayant produit dans les deux coupes environ 10 tonnes à l'hectare, avant qu'on eût prélevé en septembre les racines pour l'analyse. Ce même trèfle, laissé pour graine après la première coupe de fin juin, a donné pour la composition des racines enlevées en novembre, les résultats qui figurent dans la colonne IV. Le sol argileux tenace ayant porté le trèfle (analyses III et IV) était abondamment pourvu de tous les éléments nécessaires à cette récolte ; la culture profonde et la perméabilité du sol l'avaient sensiblement amélioré.

Les racines soumises à l'analyse, débarrassées aussi complètement que possible de la terre adhérente, furent lavées une ou deux fois à l'eau distillée, abandonnées au soleil, puis pesées. La dessiccation au bain-marie ayant permis de constater la teneur en eau, on les incinéra dans une capsule de platine pour en doser les cendres. En même temps, une partie des racines sèches, finement pulvérisées et intimement mélangées, servit au dosage de l'azote par combustion avec la chaux sodée.

Les racines soigneusement lavées renferment environ 5 p. 100 de cendres ; mais quand il reste de la terre fine adhérente, comme dans le cas des racines dont Vœlcker a dosé les cendres, la proportion peut atteindre 8 p. 100 ; c'est ce qui explique la quantité trop élevée d'oxyde de fer, d'alumine et de silice qui figure dans l'analyse. Il n'y a pas moins lieu de remarquer, tout compte fait des éléments étrangers apportés par le sol adhérent, la présence d'une proportion considérable de chaux et de potasse, d'acides phosphorique et sulfurique, qui, par suite de la décomposition des racines dans le sol, y restent à l'état assimilable.

*Trèfle strié.* — Vœlcker a donné dans un travail spécial[1] la composition d'une variété de trèfle récemment introduite dans la culture sous le nom de trèfle strié (*Trifolium striatum*), qui vient bien

1. *On the composition and nutritive value of Trifolium striatum*, février 1868.

sur les terres sablonneuses les plus pauvres, où le trèfle ordinaire ne donne que de misérables récoltes. Ce trèfle, très résistant, est surtout approprié aux terrains secs.

L'analyse (tableau LIV) a été faite sur un échantillon moyen de trèfle strié, cultivé dans un sol sablonneux et maigre des environs de Biggleswade.

TABLEAU LIV. — Composition du trèfle strié.

| | TRÈFLE STRIÉ | |
|---|---|---|
| | frais. | sec. |
| *Composition élémentaire.* | | |
| Eau | 55.46 | » |
| Matières organiques solubles [1] | 6.76 | 15.20 |
| — — insolubles (fibre brute) | 34.40 | 77.22 |
| — minérales (cendres) | 3.38 | 7.58 |
| | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 0.92 | 2.06 |
| Équivalant à composés albuminoïdes | 5.75 | 12.87 |
| *Composition immédiate.* | | |
| Eau | 55.46 | » |
| Huile et cire | 1.52 | 3.39 |
| Composés albuminoïdes solubles [2] | 3.79 | 8.50 |
| — — insolubles [3] | 1.96 | 4.40 |
| Gomme et sucre | 2.96 | 6.70 |
| Fibre digestible | 12.64 | 28.37 |
| — non digestible (cellulose) | 18.29 | 41.06 |
| Matières minérales solubles | 1.66 | 3.72 |
| — — insolubles | 1.72 | 3.86 |
| | 100.00 | 100.00 |
| 2. Contenant azote | 0.606 | 1.36 |
| 3. Contenant azote | 0.314 | 0.70 |

Le trèfle rouge renfermant à l'état sec, en moyenne, 3.75 p. 100 de matières grasses, 18 p. 100 de composés albuminoïdes et de 27 à 28 p. 100 de fibre ligneuse, tandis que le foin de prairie contient

au même état 3 p. 100 de matière grasse, 10 p. 100 de matières albuminoïdes et 36 p. 100 environ de fibre ligneuse, il ressort de la composition du trèfle strié qu'à l'état sec, l'échantillon renferme à peu près autant de substances combustibles que le foin de prairie et un peu moins que celui de trèfle; qu'il est plus riche que le premier et d'un tiers moins riche que le second en substances albuminoïdes; enfin, que la fibre non digestible y est en quantité beaucoup plus considérable que dans les deux autres foins.

Il reste à savoir, quant à ce dernier point, si l'échantillon qui titrait seulement 55.5 p. 100 d'eau, alors que le foin de trèfle en contient généralement de 78 à 81 p. 100, n'avait pas été coupé trop tardivement; ce qui expliquerait l'excédent de cellulose par excès de maturité et par suite, la perte d'éléments nutritifs.

*Trèfle Alfala.* — Vœlcker a également déterminé la composition d'une variété peu connue de trèfle, désigné sous le nom d'Alfala[1].

**Composition du trèfle Alfala.**

| | |
|---|---|
| Eau | 12.60 |
| Huile et chlorophylle | 2.74 |
| Composés albuminoïdes* | 8.94 |
| Sucre, gomme, etc. | 5.07 |
| Fibre brute | 62.26 |
| Matières minérales | 8.39 |
| | 100.00 |
| * Contenant azote | 1.43 |

Ce trèfle, qui renferme une forte proportion de fibre ligneuse, n'a pas les propriétés nutritives du foin de trèfle ordinaire.

B. — *Foin de trèfle.*

Le trèfle passe avec raison pour une des cultures les plus épuisantes, en tant qu'une bonne récolte de trèfle enlève au sol une masse de matières organiques et minérales plus considérable que celle de la plupart des autres plantes cultivées.

1. *Annual report of the consulting chemist for* 1882. — *Journ. Roy. Agric. Soc.,* 1883.

La composition moyenne du foin de trèfle peut s'établir en nombres ronds de la manière suivante[1] :

Composition moyenne du foin de trèfle.

| | |
|---|---|
| Eau | 17.0 |
| Matières azotées (assimilables)* | 15.6 |
| — non azotées | 59.9 |
| — minérales | 7.5 |
| | 100.0 |
| *Contenant azote | 2.5 |

On trouve pour la composition moyenne des matières minérales ou cendres :

Composition moyenne des cendres du foin de tréfle.

| | |
|---|---|
| Acide phosphorique | 7.5 |
| — sulfurique | 4.3 |
| — carbonique | 18.0 |
| Silice | 3.0 |
| Chaux | 30.0 |
| Magnésie | 8.5 |
| Potasse | 20.0 |
| Soude, chlorures, oxyde de fer, sable, perte, etc. | 8.7 |
| | 100.0 |

de façon que, dans une récolte de 10,043 kilogr. à l'hectare, il est enlevé au sol 251 kilogr. d'azote, correspondant à 305 kilogr. d'ammoniaque, et 753 kilogr. de matières minérales qui se décomposent comme il suit :

| | KIL. |
|---|---|
| Acide phosphorique | 58 |
| — sulfurique | 32 |
| — carbonique | 136 |
| Silice | 22 |
| Chaux | 225 |
| Magnésie | 64 |
| Potasse | 151 |
| Soude, chlorures, oxydes de fer, sable, etc. | 65 |
| | 753 |

1. *On the causes of the benefits of clover as a preparatory crop for wheat*, juillet 1868.

On a vu précédemment qu'une récolte, à l'hectare, de 28.7 hectolitres de froment, pesant 74kg,8 l'hectolitre, n'enlève au sol, pour le grain et la paille, que 251kg,6 de matières minérales ; et qu'une récolte à l'hectare de 50.2 tonnes de racines (turneps) avec 15.06 tonnes de feuilles, enlève 607kg,5 de matières minérales. Les principaux éléments minéraux de ces trois récoltes sont les suivants :

| | TRÈFLE. | FROMENT. | TURNEPS. |
|---|---|---|---|
| | Kil. | Kil. | Kil. |
| Acide phosphorique | 58 | 28,8 | 44,6 |
| Chaux | 225 | 12,8 | 117,1 |
| Potasse | 151 | 38,9 | 198,9 |
| Silice | 22 | 145,4 | 5,9 |

Sans entrer dans la discussion de la provenance de l'azote que le trèfle accumule, qu'il le dérive de l'atmosphère ou du sol, ou des deux à la fois, il convient d'ajouter que si le trèfle, pour la récolte précitée, représente à l'hectare une déperdition de 251 kilogr. d'azote, soit de 305 kilogr. d'ammoniaque, la récolte comparative de froment, à raison de 1.78 p. 100 d'azote dans le grain et de 0.64 dans la paille, ne représente qu'un prélèvement dans le sol de 51kg,5 d'azote, soit de 61kg,6 d'ammoniaque ; c'est-à-dire le cinquième environ de celui du trèfle.

Vœlcker a donné du foin de trèfle, bien préparé et de bonne qualité, la composition suivante, tableau LV, qui lui a servi de terme de comparaison avec celle du foin de prairie et des différentes pailles de céréales[1].

*Modifications suivant la coupe.* — La composition du foin de trèfle et en général des légumineuses, cultivées pour prairies artificielles, de même que leurs propriétés alimentaires, dépendent non seulement de l'époque à laquelle s'est faite la coupe, mais encore de l'état du temps durant la fenaison et des soins apportés à la récolte.

Le docteur Anderson a donné la composition d'un foin de trèfle de seconde coupe ; Stockardt et Hellriegel, d'une part, et le docteur Wolff, d'autre part, ont, par leurs analyses, démontré l'influence de

1. *Composition and nutritive value of straw,* décembre 1861.

la date de fenaison, effectuée avant, pendant et après la floraison du trèfle, sur la composition de la plante fraîche et transformée en foin.

TABLEAU LV. — Composition du trèfle (foin).

| | | |
|---|---|---|
| Eau | 20.50 | » |
| Matière organique soluble | 18.07 | » |
| — inorganique soluble | 4.43 | » |
| — organique insoluble | 54.38 | » |
| — inorganique insoluble | 2.62 | » |
| | 100.00 | » |
| Eau | » | 20.50 |
| Huile, cire et chlorophylle | » | 3.59 |
| Albuminé et autres composés protéiques solubles[1] | » | 5.00 |
| Sucre, mucilage, matières extractives, etc., solubles | » | 13.07 |
| Fibre digestible, etc | » | 16.42 |
| Matière inorganique soluble | » | 4.43 |
| Composés protéiques insolubles[2] | » | 8.75 |
| Fibre ligneuse non digestible | » | 25.62 |
| Matière inorganique insoluble | » | 2.62 |
| | » | 100.00 |
| Cendres : total | » | 7.05 |
| 1. Contenant azote | » | 0.80 |
| 2. Contenant azote | » | 1.40 |
| Azote total | » | 2.20 |
| Égal à composés protéiques | » | 13.75 |

Malgré les résultats des investigations antérieures, Vœlcker a tenu à rechercher expérimentalement les effets, sur la composition du foin de trèfle, d'une coupe prématurée et d'une coupe tardive[1]. Les praticiens sont d'accord qu'il y a lieu de faucher le trèfle quand, la floraison s'étant faite, les tiges à la partie inférieure donnent des indices de sécheresse. Mais la date varie naturellement suivant le climat, la saison, le sol et les engrais employés, qui modifient l'aspect

1. *The changes which take place in the field and stack in haymaking,* février 1867.

de la récolte à son état de maturité. Il n'en est pas moins vrai qu'il arrive de faucher une semaine trop tôt ou une semaine trop tard et qu'une semaine suffit pour modifier notablement la quantité et la qualité du produit.

Sur une pièce en trèfle de bonne venue, dont le sol argilo-calcaire reposant sur la formation oolithique, avait été préalablement analysé par ses soins, Vœlcker fit réserver douze lots de 150 décimètres carrés chacun. Les dates des coupes des 7 premières parcelles sont indiquées ci-après :

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Parcelles n° 1. . | 15 avril. | 28 avril. | 12 mai. | 26 mai. | 10 juin. | 30 juin. | |
| — n° 2. . | — | 28 — | 12 — | 26 — | 10 — | 30 — | |
| — n° 3. . | — | — | 12 — | 26 — | 10 — | 30 — | |
| — n° 4. . | — | — | — | 26 — | 10 — | 30 — | |
| — n° 5. . | — | — | — | — | 2 — | 16 — | 28 juillet. |
| — n° 6. . | — | — | — | — | 9 — | 30 — | — |
| — n° 7. . | — | — | — | — | 16 — | — | 28 — |

Les cinq autres parcelles ne furent fauchées qu'une seule fois aux dates suivantes :

| | |
|---|---|
| Parcelles n° 8. . . . . . . . . . . . . | 23 juin. |
| — n° 9. . . . . . . . . . . . . | 30 — |
| — n° 10. . . . . . . . . . . . . | 7 juillet. |
| — n° 11. . . . . . . . . . . . . | 18 — |
| — n° 12. . . . . . . . . . . . . | 28 — |

Dans ces expériences, d'une durée de trois mois et demi, chaque coupe fut soigneusement pesée et un échantillon moyen prélevé pour y doser l'eau, les matières albuminoïdes et minérales.

Pour chacune des cinq premières parcelles, n$^{os}$ 1 à 5, les résultats des expériences sont résumés dans des tableaux distincts (LVI à LXII).

Chaque tableau est divisé en deux parties, dont la première donne la composition du trèfle frais et du trèfle sec aux dates des coupes successives. La seconde donne les poids effectifs de la récolte fraîche et de la récolte calculée à l'état sec, en même temps que le produit rapporté à l'hectare à l'état frais, à l'état sec, et converti en foin renfermant 16.7 p. 100 d'eau. Cette teneur en eau correspond à une bonne moyenne ; elle varie non seulement avec l'état atmosphérique, mais dans la meule, suivant qu'on examine le trèfle dans les mois humides ou secs de l'année, c'est-à-dire qu'elle oscille entre

18.20 et 14.15 p. 100. On peut dire que le foin de trèfle bien conditionné renferme en moyenne un sixième de son poids d'eau.

En fixant la première coupe à la mi-avril, on n'a eu d'autre but que d'étudier si la pratique suivie dans les Cotteswold, de faire manger le trèfle à cette époque, faute d'autre nourriture, exerce une influence sur la diminution de la valeur nutritive de cette légumineuse; car on ne fauche pas de si bonne heure.

Les parcelles 6 et 7, et les parcelles 8, 9, 10, 11 et 12 font l'objet de deux tableaux séparés qui fournissent les mêmes données que celles des parcelles précédentes.

L'examen des tableaux résumant ces essais donne lieu aux remarques suivantes:

*Parcelle n° 1.* — (Tableau LVI.) La première coupe est pauvre en matières azotées, non seulement à cause de la plus grande teneur en eau, mais parce que la matière sèche ne renferme que 2.42 p. 100 d'azote. Elle fournit aussi le poids de trèfle le plus considérable. Les six coupes ont donné ensemble plus de 13 tonnes et demie.

*Parcelle n° 2.* — (Tableau LVII.) Même observation quant à la pauvreté en azote de la première coupe par rapport aux suivantes. La seconde coupe renferme une quantité d'eau exceptionnelle, due à une abondante rosée avant le fauchage. La première coupe fournit au 28 avril 24kg,94 de trèfle frais, ou 4kg,78 de trèfle sec, tandis que dans la précédente parcelle, les deux premières coupes, effectuées les 15 et 28 avril, ne donnent ensemble que 14kg,48 de trèfle frais, soit 2kg,57 de trèfle sec. En outre, les cinq coupes de la parcelle n° 2 représentent un total de 17 tonnes de trèfle frais correspondant à 3282 kilogr. de trèfle sec. On a donc ici la preuve qu'il y a un inconvénient marqué à laisser les moutons pâturer le trèfle de trop bonne heure, puisqu'il y a perte de nourriture totale. C'est de la première coupe notamment que vient l'augmentation de la récolte totale de la parcelle n° 2 par rapport à la précédente.

*Parcelle n° 3.* — (Tableau LVIII.) Dans cette parcelle, la première coupe contient plus d'eau que les trois suivantes, et la seconde est bien plus riche en matière sèche. Toutefois, la proportion d'azote dans la composition de la récolte sèche, reste notablement la même pour chaque coupe.

## TABLEAU LVI. — Essais sur la composition variable du foin de trèfle.

| PARCELLE N° 1. | RÉCOLTE FRAÎCHE. | | | | | | | RÉCOLTE SÈCHE (100 DEGRÉS). | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1re coupe. | 2e coupe. | 3e coupe. | 4e coupe. | 5e coupe. | 6e coupe. | Total. | 1re coupe. | 2e coupe. | 3e coupe. | 4e coupe. | 5e coupe. | 6e coupe. | Total. |
| Dates des coupes | 15 avril | 28 avril | 12 mai | 26 mai | 10 juin | 30 juin | » | 15 avril | 28 avril | 12 mai | 26 mai | 10 juin | 30 juin | » |
| Intervalles entre les coupes | » | 2 semaines | 2 semaines | 2 semaines | 2 semaines | 3 semaines | » | » | 2 semaines | 2 semaines | 2 semaines | 2 semaines | 3 semaines | » |
| *Composition élémentaire.* | | | | | | | | | | | | | | |
| Eau | 82.25 | 80.10 | 82.20 | 79.30 | 80.10 | 77.10 | » | » | » | » | » | » | » | » |
| Matières albuminoïdes (azotées)[1] | 2.68 | 4.25 | 3.94 | 3.19 | 4.12 | 4.44 | » | 15.12 | 21.31 | 22.12 | 15.37 | 20.69 | 19.37 | » |
| — non azotées | 13.00 | 13.18 | 11.56 | 11.90 | 13.69 | 15.95 | » | 73.27 | 66.28 | 64.96 | 72.03 | 68.81 | 69.67 | » |
| — minérales (cendres) | 2.07 | 2.47 | 2.30 | 2.61 | 2.09 | 2.51 | » | 11.61 | 12.41 | 12.92 | 12.60 | 10.50 | 10.96 | » |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | » | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | » |
| 1. Contenant azote | 0.43 | 0.68 | 0.63 | 0.51 | 0.66 | 0.71 | » | 2.42 | 3.41 | 3.51 | 2.46 | 3.31 | 3.10 | » |
| | RÉCOLTE DE LA PARCELLE en kilogrammes. | | | | | | | RÉCOLTE CALCULÉE A L'HECTARE. en kilogrammes. | | | | | | |
| Poids du produit à l'état frais | 12,92 | 1,51 | 8,16 | 1,53 | 4,08 | 3,17 | 31,40 | 5110 | 628 | 3228 | 1793 | 1614 | 1235 | 13629 |
| A. — l'état sec (100 degrés centigrades) | 2,25 | 0,32 | 1,15 | 0,94 | 0,81 | 0,73 | 6,50 | 906 | 123 | 574 | 371 | 320 | 287 | 2581 |
| Poids du produit calculé comme foin à 16.7 d'eau p. 100 | » | » | » | » | » | » | » | 1087 | 118 | 689 | 445 | 385 | 314 | 3098 |
| Matières azotées[2] | 0,31 | 0,05 | 0,31 | 0,14 | 0,11 | 0,12 | 1,11 | 135 | 21 | 121 | 55 | 55 | 45 | 435 |
| A. Matières non azotées | 1,61 | 0,22 | 0,95 | 0,68 | 0,59 | 0,54 | 4,62 | 667 | 88 | 377 | 269 | 233 | 211 | 1815 |
| — minérales (cendres) | 0,26 | 0,04 | 0,19 | 0,12 | 0,08 | 0,07 | 0,76 | 104 | 11 | 73 | 47 | 32 | 31 | 301 |
| 2. Contenant azote | 0,051 | 0,009 | 0,049 | 0,023 | 0,023 | 0,018 | 0,176 | 21,5 | 3,6 | 19,7 | 8,9 | 8,9 | 7,2 | 69,8 |

TABLEAU LVII. — Essais sur la composition variable du foin de trèfle.

| PARCELLE N° 2. | RÉCOLTE FRAÎCHE. 1re coupe. | 2e coupe. | 3e coupe. | 4e coupe. | 5e coupe. | Total. | RÉCOLTE SÈCHE (100 DEGRÉS). 1re coupe. | 2e coupe. | 3e coupe. | 4e coupe. | 5e coupe. | Total. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dates des coupes | 28 avril | 12 mai | 26 mai | 10 juin | 30 juin | » | 28 avril | 12 mai | 26 mai | 10 juin | 30 juin | » |
| Intervalles entre les coupes | » | 2 semaines | 2 semaines | 2 semaines | 3 semaines | » | 2 semaines | 2 semaines | 2 semaines | 2 semaines | 3 semaines | » |
| *Composition élémentaire.* | | | | | | | | | | | | |
| Eau | 80.80 | 86.30 | 79.80 | 78.30 | 77.10 | » | » | » | » | » | » | » |
| Matières albuminoïdes azotées[1] | 2.88 | 2.69 | 3.86 | 4.12 | 4.31 | » | 14.93 | 19.62 | 18.87 | 19.01 | 18.81 | » |
| — non azotées | 11.41 | 9.29 | 13.73 | 14.85 | 15.75 | » | 75.13 | 67.83 | 68.21 | 68.41 | 68.79 | » |
| — minérales (cendres) | 1.91 | 1.72 | 2.61 | 2.73 | 2.81 | » | 9.94 | 12.55 | 12.92 | 12.58 | 12.40 | » |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | » | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | » |
| 1. Contenant azote | 0.46 | 0.43 | 0.61 | 0.66 | 0.69 | » | 2.39 | 3.14 | 3.02 | 3.04 | 3.01 | » |
| | RÉCOLTE DE LA PARCELLE en kilogrammes. | | | | | | RÉCOLTE CALCULÉE A L'HECTARE en kilogrammes. | | | | | |
| Poids du produit à l'état frais | 21,94 | 1,12 | 5,41 | 4.53 | 3,63 | 42,96 | 9864 | 1718 | 2152 | 1794 | 1431 | 16992 |
| A. — à l'état sec (100 degrés centigrades) | 1,78 | 0,60 | 1,10 | 0,98 | 0,82 | 8,30 | 1893 | 239 | 431 | 389 | 328 | 3282 |
| calculé comme foin à 16.7 p. 100 d'eau | » | » | » | » | » | » | 2272 | 286 | 521 | 467 | 394 | 3940 |
| Matières azotées[2] | 0,70 | 0,11 | 0,19 | 0,17 | 0,11 | 1,32 | 280 | 45 | 79 | 66 | 55 | 525 |
| A. { Matières non azotées | 3,61 | 0,42 | 0,76 | 0.69 | 0,58 | 6,06 | 1427 | 165 | 299 | 275 | 235 | 2399 |
| A. { — minérales (cendres) | 0,47 | 0,07 | 0,15 | 0,12 | 0,09 | 0,90 | 185 | 29 | 55 | 48 | 39 | 358 |
| 2. Contenant azote | 0,113 | 0,018 | 0,032 | 0,027 | 0,023 | 0,213 | 41,83 | 7,17 | 12,55 | 10,76 | 8,96 | 81,27 |

TABLEAU LVIII. — Essais sur la composition variable du foin de trèfle.

| PARCELLE N° 3. | RÉCOLTE FRAÎCHE. | | | | | RÉCOLTE SÈCHE (100 DEGRÉS). | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1re coupe. | 2e coupe. | 3e coupe. | 4e coupe. | Total. | 1re coupe. | 2e coupe. | 3e coupe. | 4e coupe. | Total. |
| Dates des coupes | 12 mai | 26 mai | 10 juin | 30 juin | » | 12 mai | 26 mai | 10 juin | 30 juin | » |
| Intervalles entre les coupes | » | 2 semaines | 2 semaines | 3 semaines | » | » | 2 semaines | 2 semaines | 3 semaines | » |
| *Composition élémentaire.* | | | | | | | | | | |
| Eau | 81.30 | 73.30 | 77.70 | 77.00 | » | » | » | » | » | » |
| Matières albuminoïdes azotées[1] | 2.87 | 4.12 | 3.56 | 3.56 | » | 15.37 | 15.44 | 15.94 | 15.44 | » |
| — non azotées | 14.21 | 19.39 | 16.01 | 16.76 | » | 76.13 | 72.62 | 71.96 | 72.90 | » |
| — minérales (cendres) | 1.59 | 3.19 | 2.70 | 2.68 | » | 8.50 | 11.91 | 12.10 | 11.65 | » |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | » | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | » |
| 1. Contenant azote | 0.46 | 0.66 | 0.57 | 0.57 | » | 2.46 | 2.47 | 2.55 | 2.47 | » |
| | RÉCOLTE DE LA PARCELLE en kilogrammes. | | | | | RÉCOLTE CALCULÉE A L'HECTARE en kilogrammes. | | | | |
| Produit à l'état frais (poids) | 44,43 | 1,93 | 5,10 | 3,63 | 55,09 | 17575 | 769 | 2017 | 1431 | 21795 |
| A. — — sec (100 degrés centigrades) poids | 8,31 | 0,53 | 1,13 | 0,83 | 10,80 | 3285 | 210 | 448 | 330 | 4273 |
| — calculé comme foin à 16.7 p. 100 d'eau | » | » | » | » | » | 3912 | 252 | 538 | 396 | 5128 |
| Matières azotées[2] | 1,28 | 0,05 | 0,17 | 0,11 | 1,61 | 503 | 22 | 66 | 45 | 636 |
| A. { Matières non azotées | 6,33 | 0,12 | 0,83 | 0,63 | 8,20 | 2501 | 165 | 328 | 247 | 3241 |
| A. { — minérales (cendres) | 0,70 | 0,06 | 0,13 | 0,09 | 0,99 | 278 | 23 | 54 | 38 | 393 |
| 2. Contenant azote | 0,201 | 0,009 | 0,027 | 0,018 | 0,258 | 80,70 | 3,58 | 10,76 | 7,18 | 102,22 |

Comparée à la précédente, la parcelle n° 3 donne à la première coupe plus de trèfle frais (44kg,43) que l'ensemble des coupes de la parcelle n° 2 (42kg,96) et à peu près le même poids de trèfle sec (8kg,31).

Le calcul de la récolte à l'état de foin indique 5128 kilogr. pour la parcelle n° 3 contre 3940 kilogr. pour la parcelle n° 2. Ainsi, poids pour poids, la récolte a plus de valeur sur la parcelle n° 3.

*Parcelle n° 4.* — (Tableau LIX.) Ici, la coupe, effectuée le 26 mai, a accumulé beaucoup plus de matière organique après quinze jours de végétation, que les deux coupes des 12 et 26 mai effectuées sur la parcelle n° 3 ; 59kg,40 de trèfle frais contre 46kg,36 des deux coupes de la parcelle n° 3. Cette augmentation est d'autant plus sensible que le trèfle coupé sur la parcelle n° 3 ne renferme que 78.70 p. 100 d'eau ; elle représente donc moitié plus de nourriture solide.

C'est du 12 au 26 mai que le trèfle, dans ces essais, a atteint sa pleine végétation ; il était alors en fleurs et remarquablement vigoureux. L'assimilation du carbone par les feuilles et les racines est à son maximum, car tandis que le sucre et les hydrates de carbone se produisent abondamment, les matières azotées sont stationnaires et probablement se répandent à un état d'élaboration plus avancé dans la plante.

Dans de certaines limites, la teneur du trèfle en azote se réduit proportionnellement à l'accroissement de sa valeur nutritive, en tenant compte de l'excédent des hydrates de carbone qui forment les principes combustibles.

*Parcelle n° 5.* — (Tableau LX.) Les résultats obtenus sur la parcelle n° 5 confirment absolument ce fait que, lorsque le trèfle entre en floraison et touche à sa maturité, les éléments azotés ne progressent plus, tandis que les hydrates de carbone se forment avec rapidité.

Les parcelles 4 et 5, malgré une différence d'une semaine dans la date de la première coupe, fournissent un trèfle qui contient à peu près autant d'eau, de sucre et d'azote, et représente le même poids de récolte, fraîche et sèche, de façon qu'on peut dire que la différence d'une semaine dans la première coupe n'a été guère appréciable comme résultat. Si le produit total de la parcelle n° 5 est légère-

TABLEAU LIX. — Essais sur la composition variable du foin de trèfle.

| PARCELLE N° 4. | RÉCOLTE FRAÎCHE. | | | | RÉCOLTE SÈCHE (100 DEGRÉS). | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1re coupe. | 2e coupe. | 3e coupe. | Total. | 1re coupe. | 2e coupe. | 3e coupe. | Total. |
| Dates des coupes | 26 mai | 10 juin | 30 juin | » | 26 mai | 10 juin | 30 juin | » |
| Intervalles entre les coupes | » | 2 semaines | 3 semaines | » | » | 2 semaines | 3 semaines | » |
| *Composition élémentaire.* | | | | | | | | |
| Eau | 78.70 | 71.00 | 77.01 | » | » | » | » | » |
| Matières azotées [1] | 2.25 | 5.56 | 4.19 | » | 10.56 | 19.18 | 18.18 | » |
| — non azotées | 17.24 | 20.56 | 14.92 | » | 80.94 | 71.09 | 65.01 | » |
| — minérales (cendres) | 1.81 | 2,88 | 3.83 | » | 8.50 | 9.93 | 16.81 | » |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | » | 100.00 | 100.00 | 100.00 | » |
| 1. Contenant azote | 0.36 | 0.89 | 0.69 | » | 1.69 | 3.07 | 2.91 | » |
| | RÉCOLTE DE LA PARCELLE en kilogrammes. | | | | RÉCOLTE CALCULÉE A L'HECTARE en kilogrammes. | | | |
| Poids du produit à l'état frais | 59,40 | 1,55 | 6,35 | 67,30 | 23494 | 628 | 2511 | 26633 |
| A. — à l'état sec (100 degrés centigrades) | 12,65 | 0,46 | 1,41 | 14,52 | 5003 | 181 | 577 | 5761 |
| — à l'état de foin contenant 16.7 p. 100, eau | » | » | » | » | 6004 | 217 | 693 | 6914 |
| A. Matières azotées [2] | 1,33 | 0,09 | 0,25 | 1,67 | 527 | 34 | 100 | 661 |
| A. — non azotées | 10,21 | 0,33 | 0,91 | 11,45 | 4039 | 129 | 380 | 4548 |
| A. — minérales | 1,11 | 0,04 | 0,25 | 1,39 | 437 | 18 | 97 | 552 |
| 2. Contenant azote | 0,213 | 0,013 | 0,041 | 0,267 | 84,28 | 5,37 | 16,13 | 105,78 |

## TABLEAU LX. — Essais sur la composition variable du foin de trèfle.

| PARCELLE N° 5. | RÉCOLTE FRAÎCHE. | | | | RÉCOLTE SÈCHE (100 DEGRÉS CENTIGRADES). | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1re coupe. | 2e coupe. | 3e coupe. | Total. | 1re coupe. | 2e coupe. | 3e coupe. | Total. |
| Dates des coupes | 2 juin | 16 juin | 28 juillet | » | 2 juin | 16 juin | 28 juillet | » |
| Intervalles entre les coupes | » | 2 semaines | 6 semaines | » | » | 2 semaines | 6 semaines | » |
| *Composition élémentaire.* | | | | | | | | |
| Eau | 78.80 | 69.20 | 69.20 | » | » | » | » | » |
| Matières azotées [1] | 2.06 | 4.50 | 2.50 | » | 9.69 | 14.56 | 8.06 | » |
| — non azotées | 17.51 | 23.11 | 25.81 | » | 88.68 | 75.09 | 83.86 | » |
| — minérales (cendres) | 1.63 | 3.19 | 2.49 | » | 7.68 | 10.35 | 8.08 | » |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | » | 100.00 | 100.00 | 100.00 | » |
| 1. Contenant azote | 0.33 | 0.72 | 0.40 | » | 1.55 | 2.33 | 1.29 | » |
| | RÉCOLTE DE LA PARCELLE en kilogrammes. | | | | RÉCOLTE CALCULÉE A L'HECTARE en kilogrammes. | | | |
| Produit à l'état frais (poids) | 59,85 | 0,79 | 8,16 | 68,80 | 23673 | 314 | 3228 | 27215 |
| A. Produit à l'état sec (poids) | 12,68 | 0,24 | 2,51 | 15,43 | 5018 | 95 | 994 | 6107 |
| — à l'état de foin contenant 16.7 p. 100 d'eau | » | » | » | » | 6021 | 111 | 1192 | 7327 |
| A. { Matières azotées [2] | 1,22 | 0,03 | 0,20 | 1,45 | 482 | 11 | 79 | 572 |
| A. { — non azotées | 10,50 | 0,19 | 2,11 | 12,80 | 4152 | 75 | 836 | 5063 |
| A. { — minérales | 0,97 | 0,02 | 0,20 | 1,19 | 381 | 9 | 79 | 472 |
| 2. Contenant azote | 0,195 | 0,001 | 0,032 | 0,231 | 77,11 | 1,79 | 12,56 | 91.45 |

ment supérieur à celui de la parcelle n° 4, c'est que la dernière coupe du n° 5 s'est faite un mois plus tard.

*Parcelles n^os 6 et 7.* — (Tableau LXI.) Le trèfle arrivant à maturité, la teneur pour 100 en eau s'abaisse considérablement, bien que le poids de la récolte fraîche augmente sur les parcelles n^os 6 et 7 par rapport à la parcelle n° 5.

Pour s'en tenir à la récolte à l'état sec, abstraction faite de l'humidité qui jette une certaine confusion dans le raisonnement comparatif, on remarquera que, coupée une première fois le 2 juin et une seconde fois le 16 juin, la parcelle n° 5 a fourni 12^kg,92 de trèfle sec ; sur la parcelle n° 6, le trèfle coupé pour la première fois le 9 juin, a pesé sec 16^kg,34, et sur la parcelle n° 7, le trèfle coupé une semaine plus tard, le 16 juin, a pesé sec 17^kg,84. Bien que ces différences ne soient pas énormes, elles représentent un excédent très appréciable pour le rendement à l'hectare en trèfle sec :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Du 2 au 9 juin, de . . . . . . . . | 1471 kilogr. | à l'hectare | |
| Du 2 au 16 juin, de . . . . . . . . | 2040 | — | — |

et en foin à 16.7 p. 100 d'eau :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Du 2 au 9 juin, de . . . . . . . . | 1765 kilogr. | à l'hectare | |
| Du 2 au 16 juin, de . . . . . . . . | 2449 | — | — |

ce qui démontre la mauvaise pratique d'une coupe trop prématurée du trèfle. Sur la parcelle n° 7, qui a été fauchée le 16 juin en donnant 8470 kilogr. de foin, puis le 28 juillet à raison de 919 kilogr. à l'hectare, le rendement total de 9349 kilogr. à l'hectare constitue une excellente récolte ; d'autant plus que les matières azotées, dès la première coupe, titrent 127^kg,33 d'azote, c'est-à-dire plus d'azote que dans aucune des autres coupes du champ d'expériences.

*Parcelles n^os 8 à 12.* — (Tableau LXII.) La quantité d'eau à partir du 16 juin décroît rapidement, malgré le relèvement du 7 juillet attribuable à une forte rosée ; depuis 74.10 p. 100 constaté sur la parcelle n° 7 jusqu'à 50.80 constaté sur la parcelle n° 12 le 28 juillet. Le but poursuivi en retardant la coupe des cinq dernières parcelles, c'est-à-dire en laissant la maturité s'avancer au delà du délai fixé, était de déterminer la perte en poids et en qualité du trèfle au point de vue de sa valeur nutritive.

**TABLEAU LXI. — Essai sur la composition variable du foin de trèfle.**

| PARCELLES Nos 6 ET 7. | RÉCOLTES FRAÎCHES. | | | | | | RÉCOLTES SÈCHES (100 DEGRÉS CENTIGRADES). | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | PARCELLE No 6. | | | PARCELLE No 7. | | | PARCELLE No 6. | | | PARCELLE No 7. | | |
| | 1re coupe. | 2e coupe. | Total. | 1re coupe. | 2 coupe. | Total. | 1re coupe. | 2e coupe. | Total. | 1re coupe. | 2 coupe. | Total. |
| Dates des coupes | 9 juin | 30 juin | » | 16 juin | 28 juillet | » | 9 juin | 30 juin | » | 16 juin | 28 juillet | » |
| Intervalles entre les coupes | » | 3 semaines | » | » | 6 semaines | » | » | 3 semaines | » | » | 6 semaines | » |
| *Composition élémentaire.* | | | | | | | | | | | | |
| Eau | 73.20 | 70.90 | » | 74.10 | 69.50 | » | » | » | » | » | » | » |
| Matières azotées [1] | 2.97 | 4.12 | » | 2.94 | 3.25 | » | 8.81 | 14.12 | » | 11.31 | 10.62 | » |
| — non azotées | 21.80 | 21.83 | » | 21.08 | 24.38 | » | 83.62 | 75.06 | » | 81.11 | 79.97 | » |
| — minérales (cendres) | 2.03 | 3.15 | » | 1.88 | 2.87 | » | 7.57 | 10.82 | » | 7.25 | 9.41 | » |
| | 100.00 | 100.00 | » | 100.00 | 100.00 | » | 100.00 | 100.00 | » | 100.00 | 100.00 | » |
| 1. Contenant azote | 0.38 | 0.66 | » | 0.17 | 0.52 | » | 1.41 | 2.26 | » | 1.81 | 1.70 | » |
| | RÉCOLTES DES PARCELLES 6 ET 7 en kilogrammes. | | | | | | RÉCOLTES CALCULÉES A L'HECTARE en kilogrammes. | | | | | |
| Produit à l'état frais (poids) | 61,21 | 2,04 | 63,25 | 68,92 | 6,31 | 75,26 | 24210 | 807 | 25017 | 27260 | 2510 | 29770 |
| A. — — sec (poids) | 16,34 | 0,59 | 16,93 | 17,84 | 1,93 | 19,72 | 6489 | 233 | 6722 | 7058 | 766 | 7824 |
| — — de foin à 16.7 p. 100 d'eau | » | » | » | » | » | » | 7786 | 280 | 8066 | 8170 | 919 | 9089 |
| A. { Matières azotées [2] | 1,39 | 0,05 | 1,44 | 2,01 | 0,20 | 2,21 | 572 | 22 | 594 | 796 | 79 | 875 |
| A. { — non azotées | 13,72 | 0,47 | 14,19 | 11,51 | 1,55 | 16,09 | 5127 | 186 | 5313 | 5751 | 615 | 6366 |
| A. { — minérales | 1,23 | 0,06 | 1,30 | 1,29 | 0,18 | 1,42 | 190 | 25 | 515 | 511 | 72 | 583 |
| 2. Contenant azote | 0,231 | 0,009 | 0,240 | 0,322 | 0,032 | 0,351 | 91,16 | 3,58 | 95,01 | 127,33 | 12,55 | 139,88 |

TABLEAU LXII. — Essais sur la composition variable du foin de trèfle.

| PARCELLES nos 8, 9, 10, 11 et 12. | RÉCOLTES FRAÎCHES. | | | | | RÉCOLTES SÈCHES (100 DEGRÉS CENTIGRADES). | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | No 8. | No 9. | No 10. | No 11. | No 12. | No 8. | No 9. | No 10. | No 11. | No 12. |
| Dates des coupes | 23 juin | 30 juin | 7 juillet | 18 juillet | 28 juillet | 23 juin | 30 juin | 7 juillet | 18 juillet | 28 juillet |
| *Composition élémentaire.* | | | | | | | | | | |
| Eau | 72.50 | 65.20 | 68.70 | 61.01 | 50.80 | » | » | » | » | » |
| Matières azotées[1] | 2.56 | 2.87 | 2.50 | 2.37 | 3.00 | 9.31 | 8.25 | 7.91 | 6.62 | 6.06 |
| — non azotées | 22.81 | 29.49 | 26.59 | 31.01 | 43.27 | 82.95 | 81.74 | 85.00 | 86.13 | 87.99 |
| — minérales | 2.13 | 2.44 | 2.21 | 2.61 | 2.93 | 7.74 | 7.01 | 7.06 | 7.25 | 5.95 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 0.41 | 0.46 | 0.40 | 0.38 | 0.48 | 1.49 | 1.32 | 1.27 | 1.06 | 0.97 |
| | RÉCOLTES DES PARCELLES en kilogrammes. | | | | | RÉCOLTES CALCULÉES A L'HECTARE en kilogrammes. | | | | |
| Poids du produit frais | 62,00 | 49,00 | 49,80 | 41.80 | 28,50 | 24570 | 19369 | 19727 | 17755 | 11298 |
| A — — sec | 17,07 | 17,03 | 15,61 | 16,16 | 14,05 | 6755 | 6740 | 6174 | 6392 | 5557 |
| — calculé comme foin | » | » | » | » | » | 8107 | 8087 | 7110 | 7670 | 6669 |
| A. Matières azotées[2] | 1,55 | 1,35 | 1,22 | 1,05 | 0,85 | 628 | 519 | 482 | 414 | 335 |
| A. — non azotées | 14,17 | 14,45 | 13,29 | 13,91 | 12,37 | 5605 | 5719 | 5258 | 5515 | 4892 |
| A. — minérales | 1,35 | 1,20 | 1,10 | 1,17 | 0,83 | 522 | 472 | 431 | 463 | 330 |
| 2. Contenant azote | 0,251 | 0,222 | 0,195 | 0,168 | 0,136 | 100,13 | 87,88 | 77,11 | 66,35 | 53,80 |

Non seulement l'eau diminue, mais la matière solide, dans les cinq coupes successives, à partir du 16 juin où les matières azotées atteignent 11.31 p. 100, accuse progressivement les réductions suivantes pour la matière azotée : le 23 juin, de 9.31; la semaine suivante, de 8.25 ; la semaine suivante, de 7.94 ; le 18 juillet, de 6.62, et finalement, dix jours plus tard, de 6.06 p. 100.

Vœlcker croit pouvoir attribuer cette réduction principalement à la faible proportion de feuilles vertes et à l'accroissement de la matière fibreuse correspondant à la diminution en poids de la récolte fraîche qui baisse :

| | | | |
|---|---|---|---|
| A 68kg,92 | le 16 juin | sur la parcelle | n° 7. |
| A 62 ,0 | le 23 — | — | n° 8. |
| A 49 ,0 | le 30 — | — | n° 9. |
| A 49 ,8 | le 7 juillet | — | n° 10. |
| A 44 ,8 | le 18 — | — | n° 11. |
| A 28 ,5 | le 28 — | — | n° 12. |

Le produit à l'état sec de la parcelle n° 11 offre l'anomalie d'être supérieur à celui de la parcelle n° 10, fauchée onze jours plus tôt; mais probablement le trèfle y était plus dru et le sol meilleur.

Sous la forme suivante, c'est-à-dire en mettant en regard les matières solubles et insolubles dans l'eau du trèfle frais et du trèfle sec, suivant les dates des coupes, on peut, d'un coup d'œil, juger de la détérioration qu'éprouve le trèfle que l'on laisse en terre après maturité. (Tableau LXIII.)

Les anomalies que l'on remarque entre les parcelles 8 et 9 par rapport à la parcelle 7, ont été constatées par les pesées; elles n'infirment pas d'ailleurs la progression dans la détérioration que subit le trèfle après maturité, par suite de l'augmentation de la matière fibreuse insoluble et de la diminution des matières solubles azotées et carbonées.

### 7. Plantes et foin de prairies naturelles.

#### A. — *Herbes de prairie.*

La valeur nutritive des diverses herbes des prairies naturelles et des fourrages verts, en général, se déterminait autrefois d'après la relation entre les matières solubles dans l'eau et les matières inso-

lubles. Plus la proportion de matières solubles était élevée et plus l'herbe passait pour nutritive. C'est ainsi que Sinclair, dans son rapport sur les résultats de l'engraissement à l'aide des herbes et des fourrages verts, dans les expériences instituées par le duc de Bedford à Woburn, avait essayé de classer les plantes des prairies naturelles et artificielles. Cette méthode défectueuse, donnant des résultats en désaccord avec la pratique, n'a été rejetée d'une manière définitive qu'après les nombreuses et minutieuses analyses du professeur Way[1], d'après lesquelles les principales plantes des prés ont pu être réparties en trois classes, correspondant à une qualité nutritive supérieure, moyenne et inférieure.

**TABLEAU LXIII. — Comparaison des matières solubles et insolubles contenues dans le foin de trèfle suivant les coupes.**

| NUMÉROS des parcelles. | DATES DES COUPES. | EAU. | MATIÈRES solubles dans l'eau. | MATIÈRES insolubles dans l'eau. |
|---|---|---|---|---|
| | *Récolte fraîche.* | | | |
| 5 | 2 juin | 78.80 | 8.70 | 12.50 |
| 6 | 9 — | 73.20 | 10.79 | 16.01 |
| 7 | 16 — | 74.10 | 10.00 | 15.90 |
| 8 | 23 — | 72.50 | 9.10 | 18.40 |
| 9 | 30 — | 65.20 | 13.60 | 21.20 |
| 10 | 7 juillet | 68.70 | 10.90 | 20.40 |
| 11 | 18 — | 64.01 | 12.19 | 23.80 |
| 12 | 28 — | 50.80 | 14.40 | 34.80 |
| | *Récolte sèche* (100 *degrés centigrades*). | | | |
| 5 | 2 juin | » | 41.04 | 58.96 |
| 6 | 9 — | » | 40.30 | 59.70 |
| 7 | 16 — | » | 38.61 | 61.39 |
| 8 | 23 — | » | 33.09 | 66.91 |
| 9 | 30 — | » | 39.08 | 60.92 |
| 10 | 7 juillet | » | 34.83 | 65.17 |
| 11 | 18 — | » | 33.89 | 66.11 |
| 12 | 28 — | » | 29.27 | 70.73 |

1. *Journ. Roy. Agr. Soc. of England,* 1853, vol. I.

Sans entrer dans le détail des analyses de Way qui fixent la composition des plantes en eau, en principes assimilables, matières grasses, principes combustibles (respiratoires), fibre ligneuse et cendres, nous reproduisons dans le tableau LXIV, la composition moyenne de 22 variétés d'herbes spontanées, formant un foin à 14.3 p. 100 d'eau; et nous l'accompagnons du classement de ces herbes suivant les trois qualités précitées (tableau LXV).

**TABLEAU LXIV. — Composition des plantes de prairies naturelles à 14.3 p. 100 d'eau.**

| | MATIÈRES assimilables. | MATIÈRES grasses. | MATIÈRES combustibles, respiratoires. | FIBRE ligneuse. | CENDRES. |
|---|---|---|---|---|---|
| *Anthoxanthum odoratum.* (Flouve odorante). | 8.94 | 2.92 | 37.27 | 31.17 | 5.42 |
| *Alopecurus pratensis.* (Vulpin des prés) . . | 10.56 | 2.50 | 36.96 | 29.00 | 6.09 |
| *Arrenatherum avenaceum.* (Avoine élevée). | 11.10 | 2.73 | 32.60 | 29.35 | 9.93 |
| *Avena flavescens.* (Avoine jaunâtre). . . . | 6.41 | 2.24 | 40.35 | 30.81 | 5.90 |
| — *pubescens.* (Avoine pubescente). . . | 6.83 | 2.05 | 42.67 | 29.69 | 4.47 |
| *Briza media.* (Brize commune). . . . . . | 5.21 | 2.58 | 40.24 | 30.26 | 7.42 |
| *Bromus erectus.* (Brome des prés). . . . . | 8.09 | 2.85 | 76.30 | | 4.47 |
| — *mollis.* (Brome mou). . . . . . . . | 14.82 | 1.81 | 33.14 | 30.96 | 4.99 |
| *Cynosurus cristatus.* (Cretelle hérissée). . . | 9.51 | 2.83 | 45.12 | 22.59 | 5.47 |
| *Dactylis glomerata.* (Dactyle aggloméré) . . | 11.60 | 2.69 | 37.99 | 28.89 | 4.55 |
| — (Dactyle en graines) . . | 19.78 | 1.34 | 22.74 | 37.13 | 4.72 |
| *Festuca duriuscula.* (Fétuque dure) . . . . | 10.37 | 2.86 | 34.65 | 33.18 | 4.65 |
| *Holcus lanatus.* (Houque laineuse) . . . . . | 9.87 | 3.05 | 33.64 | 33.09 | 5.46 |
| *Hordeum pratense.* (Orge des prés) . . . . | 9.57 | 1.97 | 40.01 | 27.15 | 5.30 |
| *Lolium perenne* (Ivraie vivace). . . . . . | 10.16 | 2.72 | 36.21 | 30.17 | 6.46 |
| — *italicum* (Ray-grass d'Italie). . . . | 8.66 | 2.80 | 49.56 | 16.94 | 7.76 |
| *Phleum pratense.* (Fléole des prés). . . . | 9.74 | 3.04 | 45.73 | 22.68 | 4.53 |
| *Poa annua.* (Paturin annuel) . . . . . . . | 10.14 | 2.93 | 44.30 | 25.90 | 2.43 |
| *Poa pratensis.* (Paturin des prés). . . . . | 8.87 | 2.25 | 36.88 | 32.59 | 5.09 |
| *Poa trivialis.* (Paturin commun). . . . . . | 8.40 | 3.15 | 34.43 | 32.60 | 7.14 |
| Herbe des prés irrigués : 1re coupe. . . . . | 22.21 | 5.00 | 27.47 | 21.55 | 9.03 |
| — — 2e coupe . . . . | 9.36 | 1.77 | 37.63 | 29.40 | 7.56 |
| Moyenne. . . . . . . . . . | 9.40 | 2.56 | 38.54 | 29.14 | 5.84 |

Il y a lieu de remarquer que Way ayant analysé des plantes sauvages, les résultats eussent été sensiblement modifiés par l'analyse

de plantes soumises à la culture. Ainsi Way obtient pour le ray-grass d'Italie 8.66 de matières albuminoïdes assimilables et 7.76 p. 100 de matières minérales ou cendres, tandis que le même ray-grass, cultivé sur une terre convenablement fumée, a fourni à l'analyse de Vœlcker, 12.75 p. 100 de matières assimilables et 8.61 p. 100 de cendres. On sait également que les herbes des prés irrigués sont bien plus nourrissantes que celles des prés secs, sans doute à cause de la disparition, par l'arrosage, des herbes de qualité inférieure et parce que les prés sont fauchés plus tôt[1].

**TABLEAU LXV. — Classement des plantes de pré d'après leur qualité nutritive.**

| PLANTES de qualité supérieure. | PLANTES de qualité moyenne. | PLANTES de qualité inférieure. |
|---|---|---|
| *Lolium italicum.* (Ray-grass d'Italie.) | *Anthoxanthum odoratum* (Flouve odorante.) | *Avena flavescens.* (Avoine jaunâtre.) |
| *Poa annua.* (Paturin annuel.) | *Alopecurus pratensis* (Vulpin des prés.) | *Avena pubescens.* (Avoine pubescente.) |
| *Hordeum pratense.* (Orge des prés.) | *Arrenatherum avenaceum.* (Avoine élevée.) | *Briza media.* (Brize commune.) |
| *Cynosurus cristatus* (Cretelle hérissée). | *Lolium perenne.* (Ivraie vivace.) | *Bromus erectus.* (Brome des prés.) |
| *Dactylis glomerata.* (Dactyle aggloméré.) | *Poa pratensis.* (Paturin des prés.) | *Festuca duriuscula.* (Fétuque dure.) |
| *Bromus mollis.* (Brome mou.) | *Poa trivialis.* (Poa commun.) | *Holcus lanatus.* (Houque laineuse.) |
| *Phleum pratense.* (Fléole des prés.) | | |

B. — *Foin de prairie.*

La composition du foin de prairie a été déterminée, comme celle du foin de trèfle, pour juger comparativement de la valeur des différentes pailles (tableau LXVI).

1. *On the chemistry of food,* 1856.

TABLEAU LXVI. — Composition du foin de prairie [1].

| | | |
|---|---|---|
| Eau | 16.66 | » |
| Matière organique soluble | 17.79 | » |
| — inorganique soluble | 4.37 | » |
| — organique insoluble | 57.78 | » |
| — inorganique insoluble | 3.40 | » |
| | 100.00 | » |
| Eau | » | 16.66 |
| Huile, cire et chlorophylle | » | 5.01 |
| Albumine et autres composés protéiques solubles [1] | » | 1.81 |
| Sucre, mucilage, matières extractives, etc., solubles | » | 15.98 |
| Fibre digestible | » | 28.88 |
| Matière inorganique soluble | » | 4.37 |
| Composés protéiques insolubles [2] | » | 6.25 |
| Fibre ligneuse non digestible | » | 17.64 |
| Matière inorganique insoluble | » | 3.40 |
| | » | 100.00 |
| Cendres, total | » | 7.77 |
| 1. Contenant azote | » | 0.29 |
| 2. Contenant azote | » | 1.00 |
| Azote total | » | 1.29 |
| Égal à composés protéiques | » | 8.06 |

Il ressort de cette analyse que le foin de pré, moins riche en matières albuminoïdes que le foin de trèfle, est beaucoup plus riche en principes assimilables que la paille des céréales, et renferme plus d'huile et de matières grasses; que le foin de pré et de trèfle, bien préparé, est plus pourvu de sucre et d'autres substances solubles, et plus pauvre en fibre non digestible que la paille. Bien que le foin de pré contienne plus de fibre ligneuse que celui de trèfle, tous deux sont supérieurs à la paille comme nourriture. Les seules espèces de paille qui en approchent, sont celles d'avoine coupée en vert et la paille de pois.

1. *Composition and Nutritive value of straw,* décembre 1861.

A l'occasion des améliorations apportées par M. Edmond Ruck à la ferme de Braydon du nom de Manor farm (comté de Wilt), connue comme une des moins productives de la contrée, en raison de ses terres humides et de ses maigres pâturages, Vœlcker a analysé le foin des prés, avant et après les améliorations [1]. (Tableau LXVII.)

**TABLEAU LXVII. — Composition du foin des prés de Manor Farm avant et après amélioration.**

| | FOIN PRIMITIF | | FOIN AMÉLIORÉ | |
|---|---|---|---|---|
| | frais à 16 p. 100 eau. | sec. | frais à 16 p. 100 eau. | sec. |
| *Composition élémentaire.* | | | | |
| Eau | 16.00 | » | 16.00 | » |
| Matière organique soluble dans l'eau | 12.68 | 14.35 | 18.31 | 21.77 |
| — inorganique soluble dans l'eau | 3.40 | 4.05 | 5.29 | 6.30 |
| — organique insoluble dans l'eau | 64.69 | 77.75 | 58.20 | 69.30 |
| — inorganique insoluble dans l'eau | 3.23 | 3.85 | 2.20 | 2.63 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| *Composition immédiate.* | | | | |
| Eau | 16.00 | » | 16.00 | » |
| Huile et cire | 2.87 | 3.42 | 3.41 | 4.08 |
| Composés albuminoïdes insolubles [1] | 5.72 | 6.82 | 7.29 | 8.65 |
| Fibre ligneuse | 56.10 | 67.51 | 47.50 | 56.57 |
| Composés albuminoïdes solubles [2] | 2.56 | 3.05 | 3.41 | 4.08 |
| Sucre et gomme | 10.12 | 11.30 | 14.90 | 17.69 |
| Matière minérale soluble | 3.40 | 4.05 | 5.29 | 6.30 |
| — — insoluble | 3.23 | 3.85 | 2.20 | 2.63 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 0.92 | 1.10 | 1.16 | 1.39 |
| 2. Contenant azote | 0.40 | 0.48 | 0.54 | 0.65 |
| Azote total | 1.32 | 1.58 | 1.70 | 2.04 |

1. *Report on the improvement of grass land on the Manor Farm. — Journ. Roy. Agr. Soc.*, 1865.

Le sol, appartenant à la formation de l'argile d'Oxford, était si tenace, si humide et si pauvre, que les herbages, avant le drainage de la ferme, se composaient, outre les laîches, les agrostis, les centaurées, les joncs, etc., d'une foule de plantes donnant à l'état sec, un foin particulièrement ligneux, chétif et sans arome. L'examen de la flore de ces pâturages permit à Vœlcker de signaler la présence, parmi les plantes plus fréquentes, du vulpin des prés, du paturin annuel et des prés, sans grande valeur nutritive ; de la brize commune qui n'a guère d'utilité agricole, bien que fréquente dans les terrains des argiles oxfordienne et de Londres, car le bétail ne la consomme pas ; de l'agrostis rampant ou des marais; de la fléole des prés, petite espèce ; de la fétuque dure, du brome mou, indices de terres appauvries, de la cretelle hérissée, encore une herbe maigre ; du chardon de marais (*Cardus palustris*), qui abonde dans les prés humides; de la centaurée noire (*Centaurea nigra*); de la bugrane épineuse (*Ononis spinosa*) ; de la potentille argentine (*Potentilla anserina*); du rumex-oseille (*Rumex acetosella*) et du trèfle jaune (*Medicago lupulina*). Les trèfles rouge et blanc n'y étaient que faiblement représentés.

A la suite du drainage et des amendements renouvelés, à l'aide de la chaux et du superphosphate, pendant trois années consécutives, la flore de ces mêmes prés s'était complètement modifiée. Les herbes maigres, telles que le brome mou, la cretelle hérissée, la brize commune, la bugrane, les centaurées, les chardons et les joncs de marais avaient fait place aux espèces plus nutritives, la fétuque, les paturins, les fléoles. De complexe qu'elle était, la flore, par l'action de la chaux et des phosphates, s'était simplifiée en faveur des trèfles blanc, jaune et rouge, des gesses et des lotiers. Le foin était devenu doux au toucher et agréable au goût, parfumé par la flouve odorante et appétissant pour le bétail.

La comparaison entre le foin amélioré et celui des mêmes pâturages non amendés, donne lieu aux remarques suivantes:

1. La proportion de matière fibreuse s'est réduite en nombres ronds, de 56 à 47.5 p. 100 ;

2. Celle des matières albuminoïdes solubles et insolubles s'est élevée de 8 à 10.5 p. 100;

3. La différence dans la teneur en sucre et autres matières solubles, entre les deux foins, atteint 5 p. 100;

4. Les matières grasses et la cire ont également augmenté dans le foin amélioré ;

5. Enfin l'augmentation des matières minérales solubles indique que le foin amélioré dont la composition se rapproche de celle du foin bien conditionné, est le plus succulent des deux.

*Altérations du foin.* — Les modifications de qualité nutritive que subit le foin, sont dues, ou bien au mauvais temps pendant la fenaison, ou au manque de soins pendant la dessiccation sur place, ou enfin à l'erreur commise en fauchant trop tôt ou trop tard. Il est difficile de se protéger contre le mauvais temps, malgré les pronostics, et le cultivateur est à peu près sans contrôle sur la première cause de détérioration. Si l'on a fauché par un jour de soleil, il ne s'ensuit pas que les jours suivants seront secs; aussi, lorsque le temps devient pluvieux, l'herbe à demi sèche se mouille, et il faut alors faner fréquemment sur le champ, avant de la transporter ou de la mettre en meules. Tout manque de soins pour obtenir une prompte dessiccation de l'herbe, entraîne l'échauffement du foin mis en meules et la perte de qualité ; de même, comme on l'a vu, la récolte faite prématurément ou tardivement occasionne des différences notables dans la valeur du foin comme nourriture et dans le rendement définitif à l'hectare [1].

L'inconvénient le plus manifeste d'un fanage trop souvent répété, outre la perte de temps et de main-d'œuvre ou d'argent, est de meurtrir l'herbe, de la rendre plus sujette à l'action des pluies qui dissolvent le sucre, la gomme, le mucilage, les matières albuminoïdes et autres matières solubles contenues en abondance ; et, par suite de la lacération des cellules, de favoriser la fermentation à l'aide de laquelle les deux éléments de nutrition les plus précieux, l'albumine et le sucre, sont détruits.

L'influence de la pluie et d'une mauvaise préparation du foin sur la composition du trèfle ressort de la comparaison des deux ana-

1. *The changes which take place in the field and stack in haymaking,* février 1867.

lyses suivantes, tableau LXVIII, dont la première se rapporte à du foin de trèfle de bonne qualité.

TABLEAU LXVIII. — Composition du foin de trèfle sain et altéré.

| | FOIN de trèfle de bonne qualité. | FOIN DE TRÈFLE ALTÉRÉ | |
|---|---|---|---|
| | | État naturel. | Séché à 100 degrés centigrades. |
| Eau | 16.60 | 20.45 | » |
| Matières organiques azotées[1] | 15.81 | 8.50 | 10.69 |
| — — non azotées | 60.00 | 64.27 | 80.79 |
| — minérales (cendres) | 7.59 | 6.78 | 8.52 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 2.52 | 1.36 | 1.71 |

Bien que la teneur en azote ne soit pas un indice invariable de la valeur nutritive d'un végétal, dans le cas du trèfle converti en foin son abaissement dénote une qualité inférieure, car les feuilles et les pousses plus succulentes du trèfle, bien plus riches en azote que les tiges, ont dû être sacrifiées dans le foin altéré, pour motiver une réduction de près de moitié des matières albuminoïdes azotées ou des substances assimilables.

On ne peut donc que condamner la pratique qui consiste à faner par un temps couvert, lorsque l'air atmosphérique saturé d'humidité ne favorise pas l'évaporation et de retourner trop lourdement, surtout le trèfle, en sacrifiant les petites feuilles et les parties fines les plus nourrissantes de la plante.

Tant que l'herbe et le trèfle sont à l'état frais, ou fraîchement coupés, la pluie n'a guère d'action sur eux en plein air. De même, le rapport entre l'eau combinée de la plante et le sucre est tel que la fermentation ne peut s'établir ; les matières azotées ne deviennent des ferments actifs que lorsque la vitalité de la plante étant détruite, les cellules végétales et les vaisseaux sont brisés par la dessiccation partielle, et que leur contenu s'est mélangé.

Ainsi, la fermentation s'active aussi bien par l'évaporation de l'eau combinée que par la destruction plus ou moins complète de l'organisme vivant de la plante. Il arrive fréquemment que, dans le champ même, le foin à demi fait fermente déjà, perd en qualité et s'échauffe plus tard dans la meule au détriment de sa valeur nutritive. Si, au contraire, par un temps chaud et sec, l'évaporation s'est rapidement effectuée, la teneur en eau s'abaisse suffisamment pour prévenir ou retarder la fermentation. Le foin reste doux et résiste à un échauffement trop élevé dans la meule. Il se manifeste toujours une certaine élévation de température dans le foin mis en meules, quelques soins que l'on ait pris, mais loin d'être préjudiciable, cette élévation, en développant des principes aromatiques particuliers qui rendent le fourrage plus appétissant et nutritif, est utile.

Tant que le foin conserve sa coloration verte, il n'y a rien à redouter de la fermentation; c'est seulement quand il tourne au brun qu'il y a déperdition notable de principes nutritifs. Les analyses exécutées par Voelcker prouvent qu'il en est ainsi, malgré la faveur dont le foin brun jouit auprès des animaux.

Dans le tableau LXIX, la composition du foin de prairie normale représente la moyenne de 25 analyses, et celle du foin de trèfle, la moyenne des analyses de 75 variétés de trèfle et de plantes mélangées avec le trèfle. Le foin de trèfle absorbe et retient un peu plus d'eau que celui de prairie ordinaire ; il renferme également plus de sucre, de gomme et de matières similaires, ainsi que des matières azotées en plus grande quantité.

L'analyse du foin de prairie fermenté se rapporte à un échantillon fortement coloré en brun, d'un arome particulier, d'un goût franchement acide et renfermant à peine de sucre, mais beaucoup de mucilage et de composés bruns analogues à l'humus, et peu de matières albuminoïdes solubles. Ce foin était très cassant. La présence d'une quantité notable d'acide acétique s'explique par l'absence presque complète du sucre qui s'est converti en alcool par la fermentation. Quand il n'y a pas assez d'air, l'acidification des liquides alcooliques faibles ou des substances susceptibles d'entrer en fermentation alcoolique peut s'opérer d'une manière si incomplète, que l'alcool se convertit en aldéhyde, produit intermédiaire entre

TABLEAU LXIX. — Composition du foin normal et du foin fermenté.

| | FOIN DE PRAIRIE. | | FOIN DE TRÈFLE. | | FOIN FERMENTÉ DE PRAIRIE. | | FOIN FERMENTÉ DE TRÈFLE. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | État naturel. | État sec. | État naturel. | État sec. | État frais. | État sec. | État frais. | État sec. |
| *Composition élémentaire.* | | à 100° c. | | à 100° c. | | à 100° c. | | à 100° c. |
| Eau | » | » | » | » | 18.33 | » | 38.02 | » |
| Matières organiques solubles | » | » | » | » | 14.81 | 18.13 | 9.40 | 15.17 |
| — minérales — | » | » | » | » | 3.98 | 4.87 | 3.96 | 6.39 |
| — organiques insolubles | » | » | » | » | 60.29 | 73.82 | 46.01 | 74.23 |
| — minérales — | » | » | » | » | 2.59 | 3.18 | 2.61 | 4.21 |
| | » | » | » | » | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| *Composition immédiate.* | | | | | | | | |
| Eau | 11.61 | » | 16.60 | » | 18.33 | » | 38.02 | » |
| Cire et matières grasses | 2.56 | 2.99 | 3.18 | 3.81 | 1.70 | 2.08 | 0.90 | 1.45 |
| Albumine et matières azotées [1] { solubles | 8.41 | 9.83 | 15.81 | 18.96 | 1.91 | 2.37 | 1.88 | 3.05 |
| Albumine et matières azotées [1] { insolubles | | | | | 8.75 | 10.71 | 8.12 | 13.11 |
| Sucre et carbures hydrogénés | 11.07 | 48.09 | 34.42 | 41.27 | » | » | » | » |
| Gomme, mucilage, matières extractives | | | | | 9.21 | 11.31 | 6.63 | 10.69 |
| Amidon | | | | | » | » | » | » |
| Acide acétique | » | » | » | » | 1.93 | 2.36 | » | » |
| Fibre digestible | » | » | » | » | 23.01 | 28.19 | 15.55 | 25.09 |
| — ligneuse (cellulose) | 27.16 | 31.80 | 22.47 | 26.95 | 28.53 | 34.93 | 22.33 | 36.03 |
| Matières minérales { solubles | 6.16 | 7.21 | 7.52 | 9.01 | 3.98 | 4.87 | 3.96 | 6.39 |
| Matières minérales { insolubles | | | | | 2.59 | 3.18 | 2.61 | 4.21 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 1.35 | 1.58 | 2.53 | 3.03 | 1.71 | 2.09 | 1.60 | 2.57 |

l'alcool et l'acide acétique, et comme l'aldéhyde est extrêmement volatil, il s'échappe sans se transformer par l'oxydation en acide acétique. C'est ce qui explique comment, dans le foin mis en meule trop humide et en pleine fermentation, le sucre s'étant d'abord converti en alcool et en acide carbonique, et l'air ne pénétrant pas assez librement, il se fait que des vapeurs d'aldéhyde se dégagent au point d'empêcher que l'on ne se tienne sur la meule sans courir le danger d'asphyxie.

L'échantillon de foin de trèfle fermenté, soumis à l'analyse, outre sa teneur très élevée en eau et en fibre ligneuse, qui indique sa qualité très inférieure, avait perdu par la fermentation excessive une grande partie du sucre et des matières albuminoïdes qu'il renfermait à l'état normal. La fermentation acide ayant commencé, si le foin est encore conservé en meule, une combustion lente se poursuit qui donne origine à des produits identiques à ceux de la tourbe et résout en gaz les matières nutritives.

### C. — *Lupin jaune.*

Le lupin jaune (*Lupinus luteus*) est cultivé en grand comme plante fourragère dans plusieurs contrées de l'Allemagne, de la Belgique et de la France, mais principalement dans les districts sablonneux de la Prusse et de l'Allemagne du Nord, où on la regarde comme une récolte précieuse pour les sables pauvres et arides qui ne laissent croître aucune autre légumineuse. Il est préféré comme fourrage, à cause de ses feuilles plus nombreuses et plus larges, au lupin bleu (*Lupinus angustifolius*) dans les contrées où la graine est moins recherchée pour la nourriture et l'engraissement des animaux[1].

M. Th. Crisp, de Butley-Abbey, qui a rendu compte du mémoire du baron Herman de Nathusius, de Magdebourg, sur la culture du lupin jaune et du lupin bleu en Prusse (*Journ. Roy. agr. Soc.*, vol. XX, 1859), a été le premier à cultiver en grand le lupin et à recommander sa culture en Angleterre, sur les terres légères sablonneuses. M. J. Kinder, suivant l'exemple de M. Crisp, sur sa ferme située au

1. *On the composition of the yellow lupine, etc.*, décembre 1860.

sud d'Oxford, dans les sables caillouteux du coral-rag, a également pratiqué en grand la culture du lupin jaune. Vu l'irrégularité, à cause de la saison humide, de la fructification de la récolte de M. Kinder, Vœlcker ne l'a examinée que sous le rapport de sa valeur nutritive comme fourrage vert. Le lupin soumis à l'analyse (tableau LXX) fut coupé le 24 septembre ; il avait 1m,20 de hauteur et était en pleine floraison.

Les tiges de pied étaient dures et ligneuses au point de ne pouvoir être mangées par les moutons, mais les têtes molles et succulentes étaient garnies de feuilles et de pousses; celles-ci représentent à peu près 70 p. 100 du poids de la plante.

L'analyse du lupin qui est rapportée dans le tableau ci-après, donne lieu à plusieurs remarques. Ainsi, la teneur en eau se rapproche de celle du chou (89.5), et celle en matières minérales aussi ; mais il y a plus de matières albuminoïdes dans le lupin que dans le chou.

La plus grande partie de la matière sèche étant insoluble dans l'eau, le jus formé par la matière soluble a un goût légèrement amer, auquel les moutons et les bêtes bovines s'habituent et s'accommodent ; mais les porcs se refusent, paraît-il, à manger le lupin à l'état vert.

Bien que renfermant autant de substances albuminoïdes ou assimilables que les meilleures variétés de plantes fourragères, le lupin est inférieur sous le rapport nutritif au trèfle, à la luzerne, au sainfoin, au seigle et à la navette ; c'est que les matières azotées ne déterminent pas à elles seules la qualité alimentaire d'une plante. A défaut d'une dose suffisante de sucre, et en raison de sa teneur en eau et en cellulose, cette légumineuse prend rang après les autres légumineuses comme nourriture des animaux.

Il se peut que pour un autre échantillon et pour le lupin en général, venu sous un autre climat, dans un autre sol, et dans des circonstances plus favorables, l'année en Angleterre ayant été très humide et peu favorable à la maturité comme à la formation du sucre, cette conclusion doive être modifiée.

**TABLEAU LXX. — Composition du lupin jaune.**

| | ÉTAT FRAIS. | | ÉTAT SEC à 100 degrés centigrades. | |
|---|---|---|---|---|
| *Composition élémentaire.* | | | | |
| Eau | » | 89.20 | » | » |
| Matière sèche { organique [1] | » | 10.00 | » | 92.58 |
| Matière sèche { inorganique | » | 0.80 | » | 7.42 |
| | » | 100.00 | » | 100.00 |
| 1. Contenant azote | » | 0.38 | » | 3.51 |
| Égal à composés albuminoïdes | » | 2.38 | » | 22.03 |
| Eau | jus. | 89.20 | » | » |
| Matières organiques solubles | 93.10 | 3.29 | jus. | 30.46 |
| — minérales solubles | | 0.61 | 36.13 | 5.67 |
| — organiques insolubles | fibre. | 6.71 | fibre. | 62.12 |
| — minérales insolubles | 6.90 | 0.19 | 63.87 | 1.75 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| *Composition immédiate.* | | | | |
| Eau | » | 89.20 | » | » |
| Huile | » | 0.37 | » | 3.42 |
| Composés albuminoïdes solubles [2] | » | 1.37 | » | 12.68 |
| Matières minérales (salines) solubles | » | 0.61 | » | 5.64 |
| Composés albuminoïdes insolubles [3] | » | 1.01 | » | 9.35 |
| Sucre, gomme, matière extractive amère et fibre digestible | » | 3.96 | » | 36.68 |
| Fibre ligneuse (cellulose) | » | 3.29 | » | 30.48 |
| Matières minérales insolubles | » | 0.19 | » | 1.75 |
| | » | 100.00 | » | 100.00 |
| 2. Contenant azote | » | 0.22 | » | 2.03 |
| 3. Contenant azote | » | 0.16 | » | 1.48 |

D. — *Anthyllide vulnéraire (foin).*

L'anthyllide vulnéraire (*Anthyllis vulneraria*) croît à l'état sauvage dans toute l'Angleterre; on la rencontre le plus souvent en larges touffes, étalant ses fleurs jaunes sur les pâturages secs et les

endroits pierreux et rocailleux ; mais, bien qu'elle vienne dans beaucoup de sols différents, elle se plaît naturellement dans les terrains calcaires, tels que ceux des collines du Coltswold et dans les terres sablonneuses.

La culture de l'anthyllide a été pratiquée avec succès dans le comté de Norfolk, d'où Voelcker a reçu les échantillons de foin soumis à l'analyse. Le foin grossier, à tiges abondantes, n'avait pas été fauché trop tardivement, car il renfermait les fleurs de la plante[1].

D'après l'analyse (tableau LXXI) comparée à celle du foin de

**TABLEAU LXXI. — Composition de l'anthyllide (foin).**

| | FRAIS. | SÉCHÉ à 100 degrés centigrades. |
|---|---|---|
| Eau | 10.46 | » |
| Matières organiques { solubles dans l'eau[1] | 26.47 | 29.56 |
| Matières organiques { insolubles — | 57.99 | 64.76 |
| Matières minérales (cendres) | 5.08 | 5.68 |
| | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 1.19 | 1.33 |
| Égal à composés albuminoïdes | 7.39 | 8.25 |
| Eau | 10.46 | » |
| Huile et cire | 1.18 | 1.32 |
| Composés albuminoïdes solubles[2] | 2.87 | 3.20 |
| — — insolubles[3] | 4.52 | 5.04 |
| Gomme, sucre et carbures hydrogénés | 43.91 | 49.04 |
| Fibre ligneuse non digestible (cellulose) | 31.98 | 35.72 |
| Matières minérales solubles dans l'eau | 4.50 | 5.03 |
| — — insolubles — | 0.58 | 0.65 |
| | 100.00 | 100.00 |
| 2. Contenant azote | 0.47 | 0.52 |
| 3. Contenant azote | 0.72 | 0.80 |

1. *On the composition and nutritive value of anthyllis vulneraria*, juillet 1860.

trèfle et du foin de prairie, à l'état sec (tableau LXXII), on reconnaît que l'anthyllide renferme deux tiers de matières grasses en moins que le foin de trèfle et la moitié en moins que le foin de prairie; que les matières azotées albuminoïdes y sont moins abondantes que dans ce dernier et de moitié moindres que dans le premier; enfin qu'elle contient plus de fibre ligneuse que les deux autres. Sa valeur nutritive est par conséquent inférieure comme foin; mais il se peut que, consommée à l'état vert, grâce aux feuilles vertes toujours riches en azote et à la sève des tiges, l'anthyllide offre un fourrage plus succulent que ne l'indique la composition du foin. Il y a lieu en tous cas de noter que l'échantillon essayé, renfermant de 4 à 6 p. 100 d'eau en moins que le foin ordinaire, était remarquablement sec, fibreux et privé des jeunes feuilles qui attirent l'humidité.

**TABLEAU LXXII. — Composition comparée du foin sec de trèfle, de prairie et d'anthyllide.**

| FOIN SÉCHÉ A 100 DEGRÉS CENTIGRADES. | TRÈFLE. | PRAIRIE. | ANTHYLLIDE |
|---|---|---|---|
| Matières grasses | 3.81 | 2.99 | 1.32 |
| Composés albuminoïdes (assimilables)[1] | 18.96 | 9.88 | 8.25 |
| Sucre, gomme et carbures (combustibles) | 41.27 | 48.09 | 49.03 |
| Fibre ligneuse non digestible (cellulose) | 29.65 | 31.80 | 35.72 |
| Matières minérales (cendres) | 9.01 | 7.24 | 5.68 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 3.03 | 1.58 | 1.32 |

E. — *Fenugrec* (*graine*).

Le fenugrec (*Trigonella fœnum grecum*) est surtout cultivé en Orient pour la graine qu'il fournit. De même que les tiges et les feuilles, la graine a une odeur forte, pénétrante, et un goût aromatique légèrement amer. A l'état de poudre, elle sert de stimulant pour l'appétit des chevaux. Importée en Angleterre comme graine d'ali-

mentation, elle passe pour une excellente nourriture d'engraissement des moutons. Vœlcker a déterminé sa composition de la manière suivante[1] :

Composition de la graine de fenugrec.

| | |
|---|---|
| Eau | 11.994 |
| Matières albuminoïdes (principalement de la légumine) | 26.665 |
| Amidon, gomme et pectine | 37.111 |
| Sucre | 2.220 |
| Matières grasses et des traces d'huile essentielle | 8.320 |
| Fibre ligneuse | 10.820 |
| Matières minérales (cendres) | 2.870 |
| | 100.000 |

Comme toutes les graines légumineuses, le fenugrec renferme une forte quantité de composés albuminoïdes, semblable en cela aux pois, aux fèves et aux lentilles, mais il contient beaucoup plus de matières grasses, ce qui explique sa valeur nutritive très élevée. Malheureusement, employée à l'engrais du mouton, la graine trigonelle communique à la chair son odeur aromatique désagréable qui oblige de terminer l'engraissement avec une autre nourriture, et lui enlève sa valeur.

F. — *Consoude hérissée.*

La consoude hérissée ou rugueuse (*Symphytum asperrimum*) est originaire du Caucase, d'où elle fut introduite en 1811 en Angleterre, comme plante d'ornement, puis cultivée en grand comme fourrage nutritif, à bon marché pour le bétail. Cette boraginée, avec ses fleurs d'un bleu pourpré, acquiert de grandes dimensions et peut être coupée plusieurs fois dans la saison, ses feuilles poussant très vite et repartant de la tige à quelques centimètres au-dessus du sol, de façon à fournir un fourrage succulent et abondant.

Le bétail ne s'en montre pas tout d'abord friand à cause des aiguillons des feuilles, mais il ne tarde pas à s'y habituer et à le manger volontiers. Les vaches laitières en tirent un excellent profit.

1. *On the Chemistry of food. — Bath and West of England Agr. Journ.*, vol. IV, 1856.

On propage la consoude par éclats, aussi petits que le comporte l'état des racines et on replante ces éclats en février, ou au commencement de mars, en lignes espacées de 60 à 75 centimètres, à 35 ou 45 centimètres de distance les uns des autres, sur les bonnes terres. Si l'opération a été faite de bonne heure et si les pieds ont pris racine avant la belle saison, on peut faire deux coupes la première année. Les années suivantes, le sol étant nettoyé et fumé, on pourra opérer 3 ou 4 récoltes, du mois d'avril au mois d'octobre.

Bien que peu répandue d'abord en Angleterre, la culture de la consoude a pris de grands développements en Irlande, notamment dans les fermes des environs de Dublin, où les nourrisseurs la recherchent pour les vaches laitières.

Son rendement à l'hectare, évalué d'ordinaire à 75 tonnes de fourrage, peut s'élever, d'après les essais faits en Irlande, sur la ferme de Carnew Castle, à 206 tonnes, obtenues en 3 coupes successives :

| | TONNES. |
|---|---|
| A la mi-avril | 71,6 |
| A la mi-juillet | 77,8 |
| A la mi-septembre | 56,6 |
| | 206,0 |

Vœlcker a donné de la consoude hérissée deux analyses, l'une publiée en 1856[1] et l'autre en 1871[2]; elles figurent dans le même tableau LXXIII.

On remarquera qu'à l'état naturel, la consoude, de même que la moutarde, le mangold et les têtes de navets, renferme beaucoup d'eau. Cette teneur, qui varie suivant le sol, la saison, l'engrais et la rapidité du développement de la plante, n'est guère inférieure à 90 ou 91 p. 100.

Le jus est très mucilagineux, bien que peu sucré ; la proportion de matières albuminoïdes assez élevée, et celle de la fibre ligneuse relativement faible ; de façon que la consoude représente comme valeur nutritive à peu près celle de la moutarde, de la betterave

1. *On the Chemistry of food,* 1856.

2. *Composition and nutritive value of Prickly Comfrey,* juillet 1871.

mangold et du ray-grass d'Italie irrigué. Tous ces fourrages sont également utilisables pour le nourrisseur qui vend le lait, au lieu d'en faire du beurre ou du fromage, car le fourrage vert succulent donne beaucoup de lait, mais du lait plutôt pauvre.

**TABLEAU LXXIII. — Composition de la consoude hérissée.**

| | 1re ANALYSE. | | | | 2e ANALYSE. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | FEUILLES | | TIGES | | État naturel. | Séché à 100° centigrades. |
| | fraîches. | sèches. | fraîches. | sèches. | | |
| Eau | 88.40 | » | 94.74 | » | » | » |
| Matières solubles dans l'eau, organiques | 1.61 | 13.89 | 5.26 | 100.00 | » | » |
| Matières solubles dans l'eau, inorganiques | 0.87 | 7.50 | | | | |
| Matières insolubles dans l'eau, fibre impure | 8.00 | 68.97 | | | | |
| Matières insolubles dans l'eau, cendres | 1.12 | 9.64 | | | | |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | » | » |
| Eau | 88.400 | » | 94.74 | » | 90.66 | » |
| Matières organiques azotées | 2.712 | 23.37 | 0.69 | 13.06 | 2.72[1] | 29.12[1] |
| — non azotées | 6.898 | 59.49 | 3.81 | 72.49 | 4.78 | 51.28 |
| — minérales | 1.990 | 17.14 | 0.76 | 14.45 | 1.81 | 19.60 |
| | 100.000 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | » | » | » | » | 0.431 | 4.66 |
| Eau | » | » | » | » | 90.66 | » |
| Huile et chlorophylle | » | » | » | » | 0.20 | 2.20 |
| Composés albuminoïdes solubles[2] | » | » | » | » | 1.10 | 11.81 |
| — — insolubles[3] | » | » | » | » | 1.62 | 17.31 |
| Gomme, mucilage et un peu de sucre | » | » | » | » | 1.28 | 13.65 |
| Fibre ligneuse (cellulose) | » | » | » | » | 3.30 | 35.13 |
| Matières minérales salines solubles | » | » | » | » | 1.25 | 13.32 |
| — — insolubles | » | » | » | » | 0.69 | 6.28 |
| | » | » | » | » | 100.00 | 100.00 |
| 2. Contenant azote | » | » | » | » | 0.175 | 1.88 |
| 3. Contenant azote | » | » | » | » | 0.259 | 2.78 |

Comme la culture de cette boraginée exige peu d'entretien, que la plante croît rapidement et résiste aux intempéries, elle se recommande au point de vue du fourrage des vaches laitières, pour l'alterner avec d'autres nourritures.

G. — *Pteris ou grande fougère*

La grande fougère (*Pteris aquilina*) n'est pas une espèce fourragère, mais elle croît si abondamment dans certaines localités qu'elle peut être coupée et utilement employée au lieu de paille ou de litière. Ses propriétés fertilisantes sont en tous cas, comme le prouve l'analyse[1], supérieures à celles de la paille de froment, d'orge ou d'avoine.

**Composition du Pteris ou grande fougère.**

| | |
|---|---|
| Eau | 6.65 |
| Huile | 4.70 |
| Composés albuminoïdes * | 12.12 |
| Mucilage, gomme, fibre digestible, etc. | 46.84 |
| Fibre ligneuse (cellulose) | 24.43 |
| Matières minérales (cendres) | 5.25 |
| | 100.00 |
| * Contenant azote | 0.94 |

## 8. Fourrages verts ensilés.

Malgré les nombreuses publications qui ont paru dans ces dernières années sur la pratique de l'ensilage des fourrages verts, il est difficile d'arriver à une connaissance exacte des phénomènes de la fermentation et des changements physiques et chimiques que subit le fourrage à différentes températures, avec exclusion partielle ou complète de l'air atmosphérique.

De fait, peu d'expériences rationnelles ont été conduites dans le but de permettre au cultivateur de produire à volonté un fourrage conservé, doux ou acide, et de bonne garde. L'opération est même le plus souvent livrée au hasard, dans l'ignorance où l'on est des principes qui règlent les modifications des végétaux dans les silos.

C'est par l'analyse d'abord que Vœlcker a cherché à élucider la chimie de l'ensilage[2].

1. *Annual Report of the consulting chemist for* 1878. — *Journ. Roy. Agric. Soc. of England*, vol. XV, 1879.

2. *On the Chemistry of ensilage*, août 1884.

De nombreuses analyses des produits ensilés, provenant de diverses localités et obtenus à l'aide de procédés différents, exécutées dans son laboratoire, sont recueillies dans le tableau LXXIV. Nous reproduirons, en les résumant, les observations dont Vœlcker a accompagné chaque analyse.

Les analyses nos 1 et 2 se rapportent à des échantillons de fourrage ensilé, *doux* au goût, d'une odeur agréable rappelant celle du foin ; le no 1 fait avec un mélange de trèfle et de seigle vert, le no 2 avec de l'herbe de prairie naturelle.

M. G. Fry, de Chobham, qui a préparé ces échantillons, est le premier qui ait appelé l'attention sur l'importance de laisser le fourrage dans le silo, atteindre une température comprise entre 50 et 65 degrés, avant de le comprimer et de le recouvrir. Par cette élévation de température, la fermentation s'établit comme pour le foin, et donne au fourrage apparemment le plus insipide ou de qualité inférieure, les propriétés appétissantes et nutritives qui le font rechercher par le bétail. Suivant M. Fry, en excluant trop rapidement l'air, à l'aide du tassement dans le silo, on empêche la température de 50 degrés de se produire, et la fermentation lactique ou acétique peut seule alors se développer en donnant un produit acide.

Si, d'après les recherches de Pasteur, une température supérieure à 50 degrés suffit pour détruire les bactéries qui provoquent la fermentation acide, avant que la masse ensilée soit tassée et couverte, on comprend que le résultat préconisé par M. Fry soit toujours atteint.

L'échantillon analysé sous le no 3, formé d'avoine coupée en vert et hachée, correspond également à un fourrage ensilé, très doux et très odorant ; mais comme les deux précédents, il n'a pas pu être conservé pendant plus de dix jours à l'air libre sans moisir.

Le fourrage no 4, de bonne qualité, composé d'herbe de prairie non hachée, et renfermant beaucoup plus d'acides volatil et fixe, s'est bien mieux conservé que les précédents.

Sous le no 5 figure l'analyse d'un fourrage de trèfle et de sainfoin mélangés, ne renfermant que 57.5 p. 100 d'eau et décidément acide, mais qui s'est très rapidement moisi à l'air.

**TABLEAU LXXIV. — Composition de divers fourrages ensilés.**

| | TRÈFLE et seigle. 1. | HERBE de prairie. 2. | AVOINE hachée. 3. | HERBE de prairie non hachée. 4. | TRÈFLE et sainfoin. 5. | | HERBE de prairie. 6. | MAÏS vert (France). 7. | MAÏS VERT frais (Canada). 8. | MAÏS VERT séché à 100° centigr. 9. | SEIGLE VERT (Boston). 10. | SEIGLE VERT (Boston). 11. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eau | 75.80 | 74.40 | 71.80 | 71.40 | 57.55 | | 75.60 | 78.80 | 85.69 | » | 75.19 | 75.19 |
| Matières grasses et chlorophylle | » | » | » | » | » | | » | » | 0.50 | 3.80 | 0.86 | |
| Acides acétique, butyrique, etc. (volatils) | (0.01) | (0.01) | (0.07) | (0.21) | 0.28 | | (0.07) | (0.07) | 1.11 | (15.88) | 0.11 | |
| Acide lactique (non volatil) | (0.01) | (0.02) | (0.01) | (0.22) | 0.76 | 70.36 soluble | (0.01) | (0.06) | 0.11 | 1.05 | 0.02 | 4.08 matière sèche soluble. |
| Sucre et matières hydrocarbonées solubles | 1.13 | 2.99 | 2.78 | 2.87 | 6.11 | | 2.01 | 4.55 | 0.93 | 6.66 | 1.10 | |
| Matières minérales solubles | » | » | » | » | 2.23 | | » | » | 0.48 | 3.70 | 0.98 | |
| Composés albuminoïdes solubles[1] | 2.53 | 2.56 | 2.18 | 1.62 | 3.43 | | 2.62 | 1.12 | 0.41 | 3.35 | 1.01 | |
| — — insolubles[1] | | | | | 1.41 | | | | 0.68 | 5.18 | 0.75 | |
| Fibre digestible | » | » | » | » | » | 29.61 insoluble. | » | » | 4.91 | 37.41 | 8.41 | 20.73 matière sèche insoluble. |
| Fibre ligneuse insoluble[1] | 18.31 | 17.90 | 18.81 | 19.27 | 23.22 | | 17.85 | 13.64 | 4.70 | 35.65 | 11.08 | |
| Matières minérales insolubles | 1.93 | 2.15 | 1.40 | 1.81 | 1.88 | | 1.89 | 1.89 | 0.42 | 3.20 | 0.19 | |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 0.40 | 0.41 | 0.35 | 0.26 | 1.26 | | 0.42 | 0.18 | 0.18 | 1.36 | 0.28 | |

TABLEAU LXXIV. — Composition de divers fourrages ensilés. (*Suite.*)

| | MAÏS VERT (Boston). | | HERBE DE PRAIRIE | | VESCE | AVOINE et anette. | TRÈFLE | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 12. | 13. | avec sel. 14. | sans sel. 15. | hachée. 16. | 17. | haché (2e année). 18. | regain. 19. | 20. | en long (France). 21. |
| Eau | 82.40 | 82.40 | 71.60 | 73.40 | 78.40 | 66.01 | 65.20 | 56.80 | 61.40 | 70.80 |
| Matières grasses et chlorophylle | 0.59 | 5.75 matière sèche soluble. | » | » | » | » | » | » | » | » |
| Acides acétique, butyrique, etc. (volatils) | 0.22 | | » | (0.21) | (0.17) | (0.39) | (0.63) | (0.26) | (0.34) | (0.07) |
| Acide lactique (fixe) | 1.26 | | (0.25) | (1.20) | (0.18) | (0.61) | (1.26) | (0.72) | (0.87) | (0.36) |
| Sucre et matières hydrocarbonées solubles | 2.58 | | 2.28 | 7.53 | 1.82 | 3.50 | (7.49) | (2.43) | (2.87) | (2.12) |
| Matières minérales solubles | 0.60 | | » | » | » | » | » | » | » | » |
| Composés albuminoïdes solubles[1] | 0.50 | | 3.25 | 1.93 | 3.12 | 4.31 | 3.62 | 6.37 | 6.37 | 4.31 |
| — — insolubles[1] | 0.76 | 11.85 matière sèche insoluble. | | | | | | | | |
| Fibre digestible | 5.13 | | » | » | » | » | » | » | » | » |
| Fibre ligneuse insoluble | 5.14 | | 18.81 | 15.46 | 14.27 | 21.20 | 20.75 | 30.01 | 26.20 | 20.43 |
| Matières minérales insolubles | 0.52 | | 4.06 | 1.68 | 2.39 | 4.98 | 2.94 | 4.39 | 3.16 | 2.34 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 0.20 | | 0.52 | 0.31 | 0.50 | 0.69 | 0.58 | 1.02 | 1.02 | 0.69 |

**TABLEAU LXXIV. — Composition de divers fourrages ensilés.** (*Suite.*)

| | HERBE DE PRAIRIE | | CHOU | HERBE | HERBE | HERBE DE PRAIRIE | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | LIQUIDE DU SILO | |
| | non hachée. 22. | ligneuse hachée. 23. | à mille têtes. 24. | arrosée (eau d'égout). 25. | de route. 26. | haut du silo. 27. | bas du silo. 28. | frais. 29. | sec à 100° centigrades. 30. |
| Eau | 73.70 | 51.10 | 86.97 | 55.00 | 76.01 | 77.80 | 82.60 | 94.63 | » |
| Matières grasses et chlorophylle | » | » | » | » | » | » | » | » | » |
| Acides acétique, butyrique, etc. (volatils) | (0.17) | » | (0.09) | (0.86) | (0.19) | (0.61) | (0.79) | » | » |
| Acide lactique (fixe) | (0.76) | (0.57) | (0.33) | (0.19) | (1.21) | | | 0.88 | 16.39 |
| Sucre et matières hydrocarbonées solubles | 3.75 | 5.86 | 2.30 | 5.18 | 2.87 | 3.03 | 3.68 | 1.29 | 23.99 |
| Matières minérales solubles | 1.59 | 4.60 | 1.53 | » | 1.63 | 1.40 | 1.21 | » | » |
| Composés albuminoïdes solubles [1] | 2.30 | 2.57 | 0.82 | 7.75 | 0.91 | 2.06 | 1.50 | 1.50 | 27.93 |
| — — insolubles [1] | 0.93 | 1.12 | 1.22 | | 1.78 | | | | |
| Fibre digestible | » | » | » | » | » | » | » | » | » |
| Fibre ligneuse insoluble | 16.77 | 33.66 | 6.61 | 27.52 | 15.82 | 14.72 | 10.35 | » | » |
| Matières minérales insolubles | 0.96 | 1.09 | 0.52 | 4.55 | 0.98 | 0.99 | 0.66 | 1.70 | 31.69 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 0.51 | 0.59 | 0.32 | 1.08 | 0.43 | 0.33 | 0.21 | 0.21 | 4.47 |

Au contraire, le fourrage n° 6 préparé, comme le précédent, par M. Gibson, de Saffron Walden, et contenant à peine d'acide, a pu se garder une quinzaine de jours avant de se décomposer.

L'échantillon de maïs vert ensilé (n° 7) fourni par M. Goffart, de Burtin, en Sologne, quoique renfermant 79 p. 100 d'eau, s'est maintenu six mois à l'air, avec son goût doux et aromatique prononcé, sans altération.

Le maïs vert (nos 8 et 9) ensilé en été, au Canada, et remis en parfait état au laboratoire de Voelcker au mois de janvier suivant, a été analysé à l'état frais et à l'état sec. Très acide et répandant l'odeur des conserves au vinaigre, ce fourrage a pu se garder plus de 18 mois à l'air libre, sans la moindre décomposition. Il est hors de doute que la proportion d'acides et de substances aromatiques formés pendant l'ensilage, a exercé une influence particulière sur sa conservation.

Le seigle vert (nos 10 et 11) et le maïs vert (nos 12 et 13) ensilés à Boston dans le Massachusetts (États-Unis), et expédiés en tonneaux, sont arrivés en excellent état. Sous l'action de l'air, le maïs acide a résisté plus longtemps à la moisissure que le seigle, bien que ce dernier renfermât 7 p. 100 d'eau en moins. Ces deux échantillons représentent un fourrage salubre et de bonne qualité.

Les analyses 14 et 15 se rapportent à de l'herbe de prairie ensilée à Peckforton, avec et sans addition de sel marin. Le n° 14, préparé avec 2 kilogr. de sel par 100 kilogr. d'herbe, n'a pas pu se garder assez longtemps pour permettre le dosage des acides ; sa teneur élevée en matières minérales est une conséquence de l'addition du sel. Quant au n° 15 renfermant 1.2 p. 100 d'acide lactique et 0.25 d'acides volatils, il s'est mieux conservé. Le sel, d'après ces essais, semble inutile, sinon défavorable, à la conservation du produit.

La vesce hachée et ensilée (n° 16) a résisté pendant plus de 4 mois à l'air libre, bien que contenant 78.40 p. 100 d'eau, sans détérioration. Cet échantillon dosait pourtant 0.5 p. 100 seulement d'acide lactique et à peine 0.2 p. 100 d'acides volatils.

Le mélange d'avoine et d'anette (n° 17) bien hachées pour l'ensilage, était fortement acide, de couleur brun foncé et d'une odeur aromatique agréable. Il s'est conservé en bon état, en flacon débouché, pendant plus de cinq mois.

Le trèfle ensilé (n° 18) provenait d'une seconde année après blé. On l'avait haché en morceaux de 3 centimètres, et laissé quatre mois en silo, à Blagdon (Somerset). Le produit, renfermant 1.2 p. 100 d'acide lactique et 0.63 d'acides volatils, était très acide au goût et ne se moisissait pas à l'air.

De même, le trèfle de regain (n° 19) ensilé à Derby, à l'état de maturité, et contenant 1 p. 100 d'acides environ, s'est maintenu en parfait état pendant plus de trois mois.

L'échantillon (n° 20) de trèfle ensilé (Colchester), ayant un goût acide très prononcé, et contenant 1 p. 100 d'acides fixes, plus 0.34 p. 100 d'acides volatils, ne s'est pas modifié pendant plusieurs mois, bien qu'abandonné en plein air.

Le trèfle (n° 21), ensilé en long et comprimé par une couche de terre d'environ 30 centimètres d'épaisseur sur le silo, a été expédié par le vicomte de Chazelles, domaine de Boullaume (Oise). Le produit, à odeur aromatique très agréable, et plus succulent que les trois précédents, s'est maintenu en bon état, bien que renfermant des traces d'acide acétique, et seulement 0.36 p. 100 d'acide lactique.

Les deux échantillons d'herbe ensilée (n^os^ 22 et 23), décidément acides au goût, se sont rapidement moisis à l'air. L'herbe (n° 23) de M. Edwards (Saint-Albans) était trop mûre et ligneuse ; l'échantillon ne dosant que 51 p. 100 d'eau, avait été prélevé pourtant à $1^m,20$ de profondeur dans le silo. L'herbe n° 22 (envoyée de Durham) n'avait pas été hachée et renfermait 73.7 p. 100 d'eau.

Le chou ensilé (n° 24), d'un goût acide comme celui de la choucroûte, et d'une odeur aromatique, a été analysé un mois après avoir été ensilé. Abandonné pendant trois mois à l'air libre, sans qu'il ait donné aucuns signes d'altération, il a été de nouveau dosé pour acide :

| | |
|---|---|
| Acides volatils (butyrique et autres). . . . . . . . . | 0.37 |
| Acides fixes (lactique, etc.) . . . . . . . . . . . . . | 0.78 |

La teneur en acide pendant ces trois mois s'était donc considérablement augmentée.

Le ray-grass d'Italie (n° 25) obtenu à Norwich par l'irrigation à l'eau d'égout, a été haché en morceaux de 6 millimètres et additionné d'une légère quantité de sel, avant d'être mis en silo. Décou-

vert après six mois d'ensilage, le ray-grass était en parfait état. D'une couleur brune, d'une odeur aromatique comme celle du foin brun, d'une saveur très acide, le produit renfermant plus de 1 p. 100 d'acides divers, rappelait l'échantillon de maïs ensilé (nos 8 et 9) envoyé du Canada, et s'est caractérisé comme lui par sa durée de conservation. Il semblerait que, dans ces deux cas, la fermentation a été complète, avec formation d'une quantité d'acides butyrique et acétique qui préservent le produit.

Il y a lieu de remarquer que le ray-grass arrosé contient d'ordinaire de 82 à 84 p. 100 d'eau, et que si, prélevé au milieu du silo, il n'en contient plus que 55, c'est qu'il a été ensilé à l'état sec et de pleine maturité.

L'herbe envoyée sous le no 26 avait été fournie par des coupes sous les arbres et des regains de gazon, fortement comprimés dans le silo, au fond duquel le liquide pouvait être recueilli et donné de temps en temps aux porcs, en mélange avec leur nourriture. Le produit, fortement acide et renfermant 1.24 p. 100 d'acides fixes, s'est très bien conservé.

Vœlcker a donné en outre la composition du liquide du silo, à l'état naturel et à l'état sec (100 degrés centigrades).

**Composition du liquide du silo.**

| | ÉTAT naturel. | DESSÉCHÉ à 100 degrés centigrades. |
|---|---|---|
| Eau | 92.88 | » |
| Composés albuminoïdes | 1.44 | 20.90[2] |
| Acides fixes (acide lactique) | 0.74 | 10.71 |
| — volatils (acides butyrique et acétique) | 0.68 | » |
| Composés hydrocarbonés et amides | 2.18[1] | 31.73[3] |
| Matières minérales (cendres) | 2.52 | 36.66 |
| | 100.44 | 100.00 |

1. Contenant azote . . . . . . . . . . . . 0.050 »
2. — — . . . . . . . . . . . . » 3.34
3. — — . . . . . . . . . . . . » 0.51

L'herbe ensilée à Lincoln, dont l'analyse figure sous les nos 27 et 28, a été transmise en deux échantillons, le premier (no 27) corres-

pondant à la partie supérieure du silo et le second (n° 28), à la partie inférieure. Le produit prélevé en haut du silo, plus sec et moins acide que l'autre, n'a pas tardé à se moisir ; tandis que le produit inférieur, bien que tout à fait humide, s'est gardé intact pendant plus de six mois.

Le liquide du silo, à l'état frais et à l'état sec (100 degrés centigrades), a été également analysé (n^os^ 29 et 30). On remarquera que, comme le précédent, ce liquide riche en substances albuminoïdes et non azotées solubles, quand il provient, comme c'est le cas, de fourrages succulents trop fortement comprimés, ne doit pas être rejeté.

Comme conclusion des analyses du tableau LXXIV, Vœlcker observe : 1° qu'il n'a trouvé dans aucun des produits, de traces d'alcool. Ou bien les produits étaient à un état trop avancé de préparation, caractérisé par leur forte acidité, ou bien ils n'avaient pas fermenté. Il est à présumer que tous les produits titrant de 1 $^1/_2$ à 1 p. 100 d'acide acétique, avaient passé par la fermentation alcoolique et qu'examinés plus tôt, ils auraient indiqué la présence de petites quantités d'alcool, se transformant en aldéhyde par la soustraction d'une proportion définie d'hydrogène. L'acide acétique résulte en effet de l'oxydation de l'aldéhyde dont l'odeur caractéristique se perçoit à l'approche des silos en travail de fermentation. Lorsque les jus sucrés des végétaux entrent en fermentation alcoolique, le sucre qu'ils renferment se convertit plus ou moins complètement en alcool, qui lui-même se transforme, en partie, en aldéhyde et finalement en acide acétique, mais en donnant lieu à nombre de sous-produits, suivant les conditions de température et d'accès de l'air.

2° Que l'azote des produits ensilés ne se trouve pas seulement à l'état d'albuminoïdes, mais aussi, en proportions variables, à l'état d'amides, qui, par la distillation à l'eau, se décomposent et fournissent de l'ammoniaque.

Comme les amides existent déjà dans la plupart des fourrages verts, trèfle, ray-grass, herbe, etc., il n'y a pas lieu d'en conclure qu'ils se sont formés, dans les mêmes fourrages ensilés, au détriment des substances albuminoïdes, c'est-à-dire de leurs principes nutritifs. C'est seulement par le dosage des amides dans le fourrage, avant et après ensilage, que la question de leur origine pourrait être tranchée.

Vœlcker n'en a pas moins déterminé, d'après le procédé au phénol de Church, sur six échantillons des fourrages ensilés l'azote, à l'état albuminoïde et à l'état d'amide, ou non albuminoïde, et le rapport p. 100 de l'azote à ces deux états (tableau LXXV).

**TABLEAU LXXV. — Dosage de l'azote à l'état albuminoïde et non albuminoïde dans les fourrages ensilés.**

| | AZOTE | | RAPPORT P. 100. | |
|---|---|---|---|---|
| | albuminoïde p. 100. | non albuminoïde p. 100. | Azote albuminoïde. | Azote non albuminoïde. |
| N° 1. — Trèfle et seigle (G. Fry, de Chobbam). . . . | 0.26 | 0.17 | 60.4 | 39.6 |
| N° 6. — Herbe de prairie (Gibson, de Saffron Walden). | 0.30 | 0.29 | 50.8 | 49.2 |
| N° 7. — Maïs vert (Goffart, de Burtin, Sologne) . . . | 0.11 | 0.07 | 61.1 | 38.9 |
| N° 15. — Herbe de prairie (Lord Tollemache, Peckforton). . . . . . . . . . . . . . . . . . | 0.38 | 0.02 | 95.0 | 5.0 |
| N° 23. — Herbe de prairie (Edwards, Saint-Albans). . | 0.24 | 0.07 | 77.4 | 22.6 |
| N° 26. — Herbe de route (Stobart, North Allerton) . . | 0.37 | 0.05 | 88.1 | 11.9 |

Le rapport entre l'azote albuminoïde et non albuminoïde varie notablement dans les six échantillons de produits, mais comme l'analyse des fourrages avant l'ensilage fait défaut, il n'est pas possible de décider si la variation est due au procédé même de conservation.

La perte que subit le fourrage par l'ensilage a été déterminée par divers expérimentateurs en Allemagne : par le professeur Weiske, à la station agronomique de Proskau, dès 1873; par le professeur Moser, sur le maïs vert ensilé; par le professeur Maercker, sur la pulpe de betteraves; par MM. Mayer et Brockema, sur des fourrages divers. Récemment encore, MM. Weiske et Schulze ont repris les expériences sur les modifications et la déperdition causées par l'ensilage, quand le fourrage est acidifié [1].

Toutes ces expériences concluent à ce que, par la fermentation prolongée, le fourrage vert se transforme en produit acide, aux dépens d'une quantité considérable de matière sèche qui disparaît pour la

1. *Journ. für Landwirthschaft.* Band XXXII, Heft 1. 1884.

plus grande partie à l'état d'acide carbonique. La perte ne porte pas seulement sur le sucre et les matières hydrocarbonées, mais encore sur les composés albuminoïdes et même la fibre ligneuse.

Quelle est l'influence des acides volatils et des acides fixes sur la conservation des produits ensilés ? Il est difficile, d'après la composition des nombreux fourrages qui figurent dans le tableau LXXIV, de répondre à cette question, car dans certains produits qui se sont bien conservés, c'est l'acide lactique ou fixe qui domine, et dans d'autres qui ont également bien résisté à l'air, ce sont les acides volatils, odorants, butyrique et acétique, dont la prédominance a été constatée. D'une manière générale, on peut dire que la plus grande partie du sucre du fourrage, se transformant en divers acides organiques dont plusieurs ont des propriétés antiseptiques, il y a lieu d'ensiler de préférence les fourrages plus mûrs, et par conséquent, plus sucrés. L'excès doit être évité autant que le défaut de maturité si l'on veut obtenir un produit succulent, susceptible de se garder à l'air après l'ouverture du silo.

Vœlcker croit pouvoir également affirmer, d'après sa propre expérience, qu'un fourrage vert ne peut bien se conserver en silo que si la proportion d'eau n'excède pas 80 p. 100. Comme le fourrage succulent, à l'état encore vert, renferme souvent de 85 à 90 p. 100 d'eau, il convient de le hacher en morceaux de 1 à 2 centimètres de longueur et de le mélanger avec de la paille également hachée, à raison de 10 à 30 p. 100, suivant le degré de succulence du fourrage, avant de procéder à l'ensilage. Si le seigle ou l'avoine restent à l'air libre jusqu'à ce que le grain formé soit encore à l'état laiteux, la proportion d'eau, eu égard à la matière sèche de mélange, ne sera pas aussi forte que pour le maïs vert ou l'herbe de prés arrosés ; on pourra se passer, dans ce cas, du mélange avec la paille.

Les plantes de prairies, les lentilles, les gesses, etc., que l'on veut ensiler doivent être transformées partiellement en foin pour qu'elles deviennent plus ligneuses, sinon être mélangées avec la paille.

Une condition non moins essentielle pour exclure l'air du fourrage ensilé, consiste à le comprimer d'abord modérément, puis fortement, dès qu'il s'est tassé.

Un fourrage ensilé, de bonne qualité, a toujours une saveur plus

ou moins acide, due à l'acide lactique qui conserve et contribue à la digestibilité des parties ligneuses. Toute fermentation violente, accompagnée de développement de chaleur et de gaz acide carbonique, est un indice de mauvais ensilage.

Vœlcker a donné, à part, la composition d'un seigle vert, ensilé dans de bonnes conditions, par M. Gibson, de Saffron Welden[1].

**Composition de seigle vert ensilé.**

| | |
|---|---|
| Eau | 72.50 |
| Acide lactique | 0.80 |
| Composés albuminoïdes[1] | 1.99 |
| Mucilage, matière extractive, etc. | 12.86 |
| Fibre ligneuse (cellulose) | 9.72 |
| Matière minérale (cendres) | 2.13 |
| | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 0.31 |

L'échantillon contenant 72.5 p. 100 d'eau et 27.5 de matière sèche était exempt de toute moisissure. Le bétail, les moutons et surtout les vaches laitières consomment le fourrage ensilé avec avidité, et en tirent un excellent parti.

Bien que l'ensilage ne paraisse pas devoir beaucoup se répandre en Angleterre, il y a des localités, principalement dans les Highlands, en Écosse, où le climat est trop froid et trop humide pour faire du bon foin et où les céréales n'arrivent pas à complète maturité, qui pourraient le pratiquer avec grand avantage, en vue de la nourriture du bétail, dans la saison où le fourrage manque.

## 9. Produits d'arbres.

### A. — *Gland de chêne.*

Le gland de chêne, qui sert à l'engraissement des moutons et des porcs, est vendu couramment aux fermiers du comté de Hertford et ailleurs, année ordinaire, à raison de 4 fr. 25 c. à 5 fr. l'hectolitre pesant 70 kilogr.

1. *Annual report of the consulting chemist for* 1882, 1883.

Vœlcker a fait l'analyse du gland de chêne, après avoir constaté qu'il perd rapidement 15 p. 100 d'eau et que la proportion du gland est de 56.10 par rapport à celle des cupules, 13.90 p. 100[1].

**Composition du gland de chêne.**

| | |
|---|---|
| Eau | 40.88 |
| Matières grasses | 2.64 |
| Composés albuminoïdes[1] | 4.39 |
| Amidon, gomme, sucre, etc | 46.74 |
| Fibre ligneuse (cellulose) | 3.94 |
| Matière minérale (cendres) | 1.41 |
| | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 0.703 |

Si la quantité de matières azotées est très faible, celle de l'amidon et des composés aptes à former la graisse est considérable, et d'ailleurs, le gland contient très peu de fibre non digestible. C'est une nourriture de premier ordre pour l'engraissement.

B. — *Caroube.*

Vœlcker a déterminé, à plusieurs reprises, la composition du fruit du caroubier, employé à l'engraissement des bœufs et des porcs. Le tableau LXXVI reproduit les analyses des gousses entières et des fèves séparément[2].

L'analyse n° 1 représente une moyenne déterminée sur des caroubes de diverses provenances. Elles renferment plus de moitié de leur poids en sucre, presque autant que les mélasses, plus un peu d'huile, des composés albuminoïdes et environ 14 p. 100 de mucilage et de fibre digestible, ensemble 83 p. 100 de matière solide alimentaire. La mélasse ne contient que 54 à 60 p. 100 de matière sèche, formée principalement de sucre.

Au prix de 188 fr. la tonne, les caroubes, poids pour poids, sont à meilleur prix que la mélasse (225 fr.) et ont une valeur nutritive bien supérieure.

1. *Annual chemical report for* 1867, mars 1868.

2. *On the theoretical and practical value of purchased food,* 1876 ; *Annual report of the consulting chemist for* 1876, 1877; *Annual report of the consulting for* 1882, 1883.

TABLEAU LXXVI. — Composition des caroubes.

| | CAROUBES entières. 1. | CAROUBES fèves. 2. | CAROUBES entières. 3. | CAROUBES fèves. 4. |
|---|---|---|---|---|
| Eau | 17.11 | 11.19 | 14.73 | 14.11 |
| Huile | 1.19 | 0.97 | 0.62 | 2.03 |
| Sucre | 51.42 | 76.29 | 40.01 | » |
| Mucilage et fibre digestible | 13.75 | | 30.99 | 54.50 |
| Composés albuminoïdes [1] | 7.50 | 5.94 | 5.62 | 16.94 |
| Fibre ligneuse (cellulose) | 6.01 | 3.62 | 5.27 | 8.81 |
| Matière minérale (cendres) | 3.02 | 1.99 | 2.76 | 3.61 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 1.20 | 0.95 | 0.90 | 2.71 |

Les fèves analysées sous les nos 2 et 4 sont très dures et indigestibles, à moins d'être concassées. En les étuvant à la vapeur pendant un certain temps, elles se gonflent et à cet état conviennent comme nourriture ; mais il est préférable de les moudre pour les convertir en farine. Bien que renfermant à peine de sucre, la proportion de matières albuminoïdes et de mucilage qu'elles contiennent les rend très nutritives, surtout en mélange avec d'autres aliments que les animaux à l'engrais consomment moins volontiers.

## 10. Plantes industrielles.

Les plantes industrielles qui ont fait l'objet de l'examen de Voelcker, sauf la betterave à sucre, ont été analysées par lui au point de vue alimentaire, le chanvre, pour sa paille et le sorgho sucré, comme fourrage vert, plutôt que sous le rapport industriel.

### A. — *Paille de chanvre.*

La chènevotte qui résulte du broyage auquel est soumis le chanvre pour en séparer la filasse, et que rejettent les ateliers de prépara-

tion, n'est en somme que la paille du chanvre. Vœlcker en a donné la composition suivante[1] :

**Composition de la chènevotte.**

| | |
|---|---|
| Eau | 14.60 |
| Matière organique soluble | 8.72 |
| — minérale — | 4.07 |
| — organique insoluble | 69.25 |
| — minérale — | 3.36 |
| | 100.00 |
| Eau | 14.60 |
| Huile | 2.82 |
| Composés protéiques[1] | 4.75 |
| Sucre, gomme, mucilage, etc. | 8.72 |
| Fibre digestible | 18.56 |
| — ligneuse non digestible | 43.12 |
| Matière minérale soluble | 4.07 |
| — — insoluble | 3.36 |
| | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 0.76 |
| Total des cendres | 7.43 |

D'après cette composition, la paille du chanvre renferme environ 3 p. 100 d'huile et de matières grasses, près de 9 p. 100 de substances solubles dans l'eau, et à peu près autant de matières azotées que la bonne paille d'orge. Comme, en outre, la fibre digestible s'y élève à 18.5 p. 100, il est peu douteux que la chènevotte ne puisse, en mélange avec les racines, servir avantageusement de nourriture pour le bétail. L'analyse tout au moins indique que sa valeur nutritive est supérieure à celle de la paille des céréales et des fanes de fèves, et par conséquent, elle ne devrait pas être employée comme litière.

B. — *Sorgho sucré.*

La culture de cette graminée (*Holcus saccharatus*) a attiré à plusieurs reprises l'attention des agriculteurs anglais, notamment vers 1859. Sur une des terres de profondeur moyenne, riches en chaux et en argile, mais sans sable, du domaine attenant au collège agricole

1. *Composition and nutritive value of Straw*, décembre 1861.

de Cirencester, on sema en lignes, avec écartement de 0m,35, et à la profondeur de 0m,07, de la graine de sorgho qui leva très également et grandit vigoureusement jusqu'à atteindre au mois d'octobre la hauteur de 1m,50. La terre ayant été fortement fumée pour la précédente récolte de pommes de terre, on n'ajouta aucun engrais, sauf quelques cendres provenant de l'élagage des haies[1].

Deux échantillons du sorgho ainsi cultivé ont été soumis à l'analyse, le premier le 23 août et le second, le 26 septembre. La composition à ces deux dates est rapportée dans le tableau LXXVII.

**TABLEAU LXXVII. — Composition du sorgho sucré.**

| | 23 AOUT. | | 26 SEPTEMBRE. | |
|---|---|---|---|---|
| | Frais. | Séché à 100° centigrades. | Frais. | Séché à 100° centigrades. |
| Eau | 85.175 | » | 81.80 | » |
| Matières organiques azotées (assimilables). | 2.559 | 17.27 | 17.97 | 98.73 |
| Matières non azotées (combustibles). | 11.146 | 75.16 | | |
| Matières minérales (cendres). | 1.120 | 7.57 | 0.23 | 1.27 |
| | 100.000 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Eau. | 85.17 | » | 81.80 | » |
| Albumine[1] | 0.36 | 2.42 | 0.37 | 2.03 |
| Composés protéiques solubles | 0.90 | 6.08 | 1.16 | 6.36 |
| Mucilage, pectine et fibre digestible. | 6.63 | 44.71 | 2.59 | 14.26 |
| Sucre | » | » | 5.85 | 32.15 |
| Huile et matière grasse. | » | » | 2.55 | 14.01 |
| Matières minérales solubles. | 0.81 | 5.46 | 0.74 | 4.06 |
| Composés protéiques insolubles[2]. | 1.25 | 8.43 | 0.66 | 3.62 |
| Fibre ligneuse non digestible (cellulose). | 4.57 | 30.81 | 4.05 | 22.25 |
| Matières minérales insolubles. | 0.31 | 2.09 | 0.23 | 1.26 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote. | 0.21 | 1.71 | 0.245 | 1.34 |
| 2. Contenant azote. | 0.20 | 1.35 | 0.106 | 0.58 |
| Azote total. | 0.41 | 2.76 | 0.351 | 1.92 |

1. *On the composition of sorghum saccharatum or North China Sugar Cane*, décembre 1859.

Le 23 août, les tiges étaient formées de feuilles enroulées qui contenaient beaucoup d'eau dont on dut les priver pour obtenir un dosage exact. Le goût de la plante était peu ou point sucré, mais il était difficile d'admettre, ce que l'analyse plusieurs fois répétée démontre, qu'elle ne renfermait pas de sucre. Les chevaux et le bétail commencèrent par refuser de manger le sorgho à cet état, puis ne le consommèrent qu'à petites doses. Il est évident que le sorgho n'étant pas mûr fin août, ne convenait pas comme nourriture.

Malgré la chaleur exceptionnelle de l'été, le sucre ne s'était pas encore formé, et c'est seulement plus tard, les tiges s'étant constituées et la plante continuant à se développer vigoureusement, que le sucre fit son apparition. Le 26 septembre, le sorgho, très sucré au goût, renfermait près de 6 p. 100 de sucre ; le bétail le consommait avec avidité et profit.

L'analyse des tiges, suivant qu'on les a coupées à 5 ou à 30 centimètres au-dessus de terre, révèle une grande différence dans la teneur saccharifère et la proportion de fibre brute :

| | TIGES DU SORGHO COUPÉES | |
|---|---|---|
| | à 5 centimèt. | à 30 centimèt. |
| Sucre p. 100 | 7.65 | 3.60 |
| Fibre brute p. 100 | 6.50 | 13.01 |

La répartition du sucre et de la fibre dans le sorgho offre ainsi un phénomène intéressant au point de vue physiologique. Le professeur Buckman, de Cirencester, a également observé que, tandis que la tige principale était tout à fait sucrée en septembre, les tiges secondaires sont encore amères, ce qui prouve que la plante ne mûrit pas d'un coup, et qu'il conviendrait peut-être, pour obtenir le maximum de fourrage sucré, d'élaguer les tiges centrales où le sucre s'est élaboré, afin de permettre aux tiges latérales de mûrir plus rapidement.

La comparaison des analyses exécutées le 23 août et le 26 septembre font voir, non seulement que le sucre, faisant totalement défaut en août, atteint la proportion de 6 p. 100 à l'état frais en septembre, ou de 32 p. 100 à l'état sec; mais que l'eau s'est réduite de 85 à 81.5 p. 100 dans la même période. Au lieu de sucre, le sorgho, au

mois d'août, renfermait de la pectine et du mucilage qui plus tard se sont convertis en sucre. La fibre ligneuse et les matières minérales étaient également en plus grande quantité dans la plante au mois d'août qu'au mois suivant ; au contraire, la dose d'azote avait diminué de 0.41 à 0.35 à l'état frais, et de près de 1 p. 100 à l'état sec.

Il paraît donc bien établi que la valeur nutritive d'une même plante n'est pas réglée autant par la teneur en azote que par celle en sucre, qu'il s'agisse de fourrage vert ou de racines.

Vœlcker ne pense pas que la culture du sorgho en Angleterre, malgré des étés chauds, atteigne jamais le rendement obtenu en Amérique, tel que le Dr Gössman, de Philadelphie, l'a fait connaître, c'est-à-dire : 3 à 5 mètres de hauteur ; 70 à 75 p. 100 de jus, dosant de 6 à 7 p. 100 de sucre cristallisable, en dehors des mélasses utilisables. Il est douteux, à son avis, que le sorgho anglais puisse servir à la fabrication du sucre et de l'alcool. D'autres expériences sont d'ailleurs nécessaires pour établir son utilité comme fourrage, en compétition avec le trèfle et les autres légumineuses, et la possibilité de le convertir en foin à partir de septembre.

C. — *Betterave à sucre.*

Les résultats obtenus sur le continent par la fabrication du sucre indigène, devenue la base de tout un système d'agriculture améliorante, devaient finir par fixer l'attention des agronomes de l'Angleterre sur la nécessité de tenter des essais définitifs de culture de la betterave à sucre. Après maintes tentatives plus ou moins infructueuses, en vue d'installer des distilleries de betteraves, on se décidait, il y a une vingtaine d'années, à aborder en grand la culture de la betterave sucrière, et M. James Duncan, de Mincing Lane, montait à Lavenham, dans le comté de Suffolk, une sucrerie pouvant traiter 60 tonnes par jour de racines à livrer par les fermiers des environs. M. Duncan ayant arrêté son choix sur deux variétés de betteraves de Silésie, avait fait distribuer les graines aux cultivateurs voisins, de même que dans diverses localités d'Écosse et d'Angleterre, de façon à pouvoir comparer les qualités saccharines des racines de plusieurs provenances. C'est à Vœlcker que furent remis

les échantillons pour être analysés, et que fut confié le soin de comparer et de faire connaître les résultats des essais.

Avant de détailler les analyses qui atteignent le nombre de 43, pour les seules betteraves de Lavenham, Vœlcker décrit, dans son intéressant mémoire[1], les principales variétés de betteraves sucrières cultivées en Allemagne et en France, les caractères que présentent les meilleures variétés, le choix des graines, l'époque de l'ensemencement et l'écartement à observer, les soins de culture, les qualités des sols appropriés à la betterave, la place qu'elle doit occuper dans l'assolement, les engrais qu'elle exige, et les conditions de maturité et d'arrachage ; puis, il traite de la composition même de la betterave. Nous bornerons notre examen de son travail à cette dernière partie, le reste n'étant qu'un résumé des informations les plus sûres recueillies sur le continent.

Si l'on regarde la section d'une betterave fraîchement coupée en travers, on aperçoit des zones concentriques, diversement nuancées suivant la variété. La zone extérieure ou épiderme est formée de tissu cellulaire compact ; les zones concentriques qui suivent, correspondent en nombre aux cercles de feuilles formant la tête et dépendent, quant à leurs dimensions, du développement de ces feuilles. Les plus anciennes feuilles, situées à la périphérie, sont en communication directe avec les couches ou zones les plus anciennes, situées au centre de la racine, composées de tissus cellulaire et vasculaire, tandis que les plus jeunes feuilles, placées au centre de la tête, communiquent avec les zones excentriques de la racine auxquelles elles fournissent la nourriture.

Quand les feuilles de la betterave sont larges et luxuriantes, les zones concentriques qui leur correspondent sont également larges ; leur tissu est spongieux et les cellules plus spacieuses sont remplies de sève aqueuse, relativement peu sucrée.

Au contraire, à des têtes moins luxuriantes et plus petites, correspondent dans les racines de moyenne dimension, des couches concentriques de vaisseaux plus étroits, remplis de sève plus dense et plus sucrée.

1. *On the chemistry of Silesian sugar beets*, juillet 1869.

Les meilleures racines pour la fabrication du sucre sont celles dans lesquelles la largeur des zones concentriques n'excède pas 0m,003 à 0m,006; elles ne pèsent guère au delà de 900 grammes; leur chair est plus ferme et moins transparente que celle des grosses racines.

Les parois des cellules sont formées de cellulose sur laquelle est déposée une matière gélatineuse, dite pectose, qui se rencontre dans toutes les racines bulbeuses. La pulpe formée de cellulose et de pectose renferme encore des petites quantités de composés albuminoïdes solubles et de matières minérales consistant principalement en sels de chaux insolubles. Le contenu liquide des cellules, formant le jus, contient, outre du sucre, une quantité appréciable de caséine et de composés azotés analogues, un peu de matière colorante verte, de l'huile, une substance âcre qui n'a pas été isolée, de l'acide citrique et probablement d'autres acides organiques, enfin un certain nombre de matières salines qui forment la partie soluble des cendres de la betterave.

Bien des éléments étant présents en très faible proportion, leur dosage exact n'a pas d'intérêt pratique, aussi Vœlcker a-t-il limité les dosages aux matières suivantes :

1. Eau.
2. Sucre cristallisable.
3. Matières pectiques.
4. Composés albuminoïdes ou azotés.
5. Fibre cellulaire (pulpe épuisée).
6. Matières minérales (cendres).

Dans la plupart des analyses, le dosage de l'eau a été répété et celui du sucre a été effectué, ainsi que la prise de densité du jus, sur plusieurs échantillons de jus.

*Campagne de 1868.* — Le sol argileux des environs de Lavenham, sur lequel furent cultivées les betteraves en 1868, était en grande partie trop compact, pas assez riche et, en somme, peu favorable ; on dut même recourir sur certaines pièces au guano du Pérou comme engrais. Malgré cela, les analyses des 43 betteraves de Lavenham qui figurent dans le tableau LXXVIII démontrent que si elles ne sont pas aussi saccharifères que celles des districts de Magdebourg et du Nord

TABLEAU LXXVIII. — Composition des betteraves de Silésie cultivées à Lavenham (Suffolk) en 1868.

| | COLLET VERT. | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | PEAU BLANCHE. | | | | | | | |
| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. |
| Poids de la racine (kilogr.) | 1,25 | 1,20 | 1,05 | 0,80 | 1,25 | 1,13 | 0,37 | 2,44 | 1,30 | 0,81 | 1,27 | 1,25 |
| Densité du jus | 1,060 | 1,059 | 1,063 | 1,069 | 1,064 | 1,070 | 1,017 | 1,056 | 1,058 | 1,068 | 1,067 | 1,049 |
| — à la température (degr. centigr.) | 16°5 | 17°5 | » | 17° | 17°5 | 16°5 | 16°5 | » | 15° | 17° | » | 16°5 |
| *Composition.* | | | | | | | | | | | | |
| Eau | 82.11 | 83.25 | 83.00 | 81.06 | 83.11 | 81.32 | 84.86 | 85.27 | 84.73 | 81.42 | 82.76 | 84.67 |
| Composés albuminoïdes[1] | 1.11 | 2.66 | 2.23 | 1.76 | 1.25 | 1.36 | 2.12 | 1.75 | 1.91 | 1.68 | 1.66 | 1.95 |
| Fibre brute (pulpe) | 3.31 | 3.90 | 3.18 | 3.83 | 3.43 | 4.31 | 4.48 | 2.99 | 3.20 | 4.34 | 3.08 | 3.99 |
| Sucre cristallisable | 11.21 | 8.20 | 9.42 | 11.49 | 10.51 | 11.33 | 6.11 | 8.04 | 8.39 | 10.59 | 10.91 | 7.27 |
| Pectine, matière colorante, etc. | 0.68 | 0.60 | 0.82 | 0.82 | 0.63 | 0.65 | 0.74 | 0.74 | 0.52 | 0.69 | 0.52 | 0.83 |
| Matière minérale (cendres) | 0.98 | 1.39 | 1.35 | 1.04 | 1.07 | 1.03 | 1.69 | 1.21 | 1.25 | 1.28 | 1.07 | 1.29 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 0.227 | 0.426 | 0.357 | 0.282 | 0.200 | 0.218 | 0.310 | 0.281 | 0.307 | 0.269 | 0.266 | 0.312 |

TABLEAU LXXVIII. — Composition des betteraves de Silésie cultivées à Lavenham (Suffolk) en 1868. (*Suite.*)

| | RACINE BLANCHE. | | | | | | | | | ORANGE. | COLLET ROUGE. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | GROSSE. | FORME DE POIRE. | | | | | PETITE. | | | | | | | | |
| | 13. | 14. | 15. | 16. | 17. | 18. | 19. | 20. | 21. | 22. | 23. | 24. | 25. | 26. | 27. |
| Poids de la racine (kilogr.) | 1,13 | 0,68 | 1,05 | 1,25 | 0,66 | 0,75 | 0,57 | » | 0,45 | 0,81 | 1,29 | 0,93 | 0,93 | 0,66 | » |
| Densité du jus | 1,067 | 1,058 | 1,059 | 1,061 | 1,067 | 1,052 | 1,073 | » | 1,068 | 1,060 | 1,065 | 1,060 | 1,057 | 1,065 | » |
| — à la température (degr. centigr.) | » | 17°5 | » | 11° | 17°5 | 18° | 17°5 | » | » | 16°5 | 19°5 | 17°5 | » | 16°5 | » |
| *Composition.* | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eau | 81.87 | 83.03 | 82.27 | 83.31 | 80.41 | 82.21 | 78.97 | 86.82 | 81.15 | 81.86 | 81.61 | 82.59 | 85.48 | 81.76 | 85.37 |
| Composés albuminoïdes [1] | 1.56 | 1.71 | 1.08 | 2.12 | 1.46 | 1.81 | 1.97 | 1.10 | 1.86 | 2.37 | 1.06 | 2.26 | 2.01 | 1.27 | 0.97 |
| Fibre brute (pulpe) | 3.02 | 4.31 | 3.73 | 3.01 | 3.99 | 3.35 | 4.69 | 3.17 | 3.90 | 4.79 | 3.86 | 4.15 | 3.59 | 4.09 | 2.93 |
| Sucre cristallisable | 11.99 | 9.31 | 11.14 | 9.74 | 12.49 | 11.13 | 12.65 | 7.04 | 11.58 | 8.78 | 11.72 | 9.10 | 7.03 | 11.12 | 9.19 |
| Pectine, matière colorante, etc | 0.58 | 0.60 | 0.71 | 0.52 | 0.73 | 0.58 | 0.62 | 0.50 | 0.52 | 0.76 | 0.63 | 0.71 | 0.54 | 0.74 | 0.15 |
| Matière minérale (cendres) | 0.98 | 1.04 | 1.04 | 1.21 | 0.92 | 0.89 | 1.10 | 1.37 | 0.99 | 1.44 | 1.12 | 1.19 | 1.35 | 1.02 | 1.09 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 0.250 | 0.275 | 0.173 | 0.340 | 0.235 | 0.290 | 0.316 | 0.176 | 0.298 | 0.380 | 0.168 | 0.362 | 0.321 | 0.204 | 0.156 |

TABLEAU LXXVIII. — Composition des betteraves de Silésie cultivées à Lavenham (Suffolk) en 1868 (*Suite.*)

| | COLLET ROUGE. | | | | | | | | | | PEAU ROUGE petite. | | RACINE ROUGE longue. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | EN POIRE. | | PETITE. | PEAU rose. | PEAU ROUGEATRE. | | | | | | | | | | | |
| | 28. | 29. | 30. | 31. | 32. | 33. | 34. | 35. | 36. | 37. | 38. | 39. | 40. | 41. | 42. | 43. |
| Poids de la racine (kilogr.) | 1,08 | 0,96 | 0,59 | 1,03 | 1,13 | 0,36 | 1,13 | 0,93 | 1,22 | 0,71 | 0,61 | 0,34 | 0,94 | 0,79 | 0,74 | 0,48 |
| Densité du jus | 1,072 | 1,060 | 1,066 | 1,067 | 1,061 | 1,071 | 1,046 | 1,059 | 1,047 | 1,051 | 1,061 | 1,055 | 1,061 | 1,063 | 1,055 | 1,061 |
| — à la température (degr. centigr.) | 17° | 20° | 17°5 | 17°5 | 17°5 | 15° | » | » | » | 15°5 | 17°5 | 20° | 16°5 | » | 15°5 | 17° |
| *Composition.* | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eau | 79.18 | 82.91 | 81.76 | 82.72 | 82.01 | 80.67 | 87.75 | 87.66 | 86.39 | 85.07 | 82.65 | 84.79 | 83.43 | 82.70 | 84.53 | 82.76 |
| Composés albuminoïdes[1] | 1.66 | 1.61 | 2.13 | 1.44 | 1.93 | 2.55 | 2.37 | 1.43 | 2.13 | 2.41 | 1.60 | 2.05 | 1.53 | 1.23 | 2.06 | 1.37 |
| Fibre brute (pulpe) | 4.56 | 3.38 | 3.77 | 3.38 | 3.12 | 5.28 | 2.85 | 2.69 | 3.79 | 4.11 | 4.11 | 4.13 | 3.49 | 3.60 | 3.59 | 4.01 |
| Sucre cristallisable | 12.84 | 10.17 | 10.55 | 10.94 | 11.11 | 9.26 | 5.08 | 6.18 | 5.52 | 6.32 | 9.62 | 6.82 | 10.01 | 10.72 | 7.78 | 9.97 |
| Pectine, matière colorante, etc | 0.80 | 0.65 | 0.70 | 0.45 | 0.82 | 0.97 | 0.42 | 0.62 | 0.75 | 0.56 | 0.84 | 0.71 | 0.50 | 0.68 | 0.70 | 0.72 |
| Matière minérale (cendres) | 0.96 | 1.25 | 1.09 | 1.07 | 0.98 | 1.27 | 1.53 | 1 12 | 1.42 | 1.53 | 1.18 | 1.50 | 1.01 | 1.07 | 1.31 | 1.17 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 400.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 0.266 | 0.259 | 0.311 | 0.231 | 0.310 | 0.409 | 0.380 | 0.230 | 0.374 | 0.386 | 0.257 | 0.329 | 0.255 | 0.197 | 0.331 | 0.220 |

de l'Allemagne, elles peuvent du moins soutenir la comparaison avec les racines obtenues en France, en Belgique et en Hollande qui titrent en moyenne de 8.5 à 9 p. 100 de sucre cristallisable.

En faisant le calcul de la teneur en sucre des diverses espèces de betteraves de Silésie cultivées à Lavenham, sans tenir compte du dosage en eau et du poids des racines, on trouve une moyenne :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Pour les betteraves | collet vert (12 analyses). . . . | 9.46 | p. 100 | de sucre. |
| — | blanches (9 analyses). . . . . | 10.78 | — | — |
| — | collet rouge (15 analyses) . . . | 9.09 | — | — |
| — | rouges (6 analyses). . . . . . | 9.16 | — | — |

Dans les tableaux d'analyses que donne Voelcker, les betteraves sont classées d'après l'envoi des divers fermiers, par localités ; nous avons modifié ce classement, en les rangeant par variétés, dans le tableau LXXVIII. On y reconnaîtra quelles différences dans la qualité saccharifère offrent les mêmes espèces de Silésie, cultivées dans le même district et dans la même saison.

Quelques remarques suggérées par l'examen comparatif des analyses trouvent ici leur place.

Ainsi, il n'est pas exact de conclure d'une manière générale que les petites racines renferment invariablement plus de sucre que les grosses.

Les racines lourdes nos 1, 5, 6, 11, 15, 23, 31, 32, pesant plus de 1 kilogr., dosent au delà de 10 p. 100 de sucre cristallisable, et Voelcker, d'après son expérience de la culture en Angleterre, est porté à croire qu'il n'y a pas de profit pour le cultivateur à produire des racines pesant moins de 900 grammes, ni pour l'industriel, de traiter des racines trop faibles en poids.

Les betteraves riches en sucre renferment naturellement moins d'eau que les betteraves pauvres ; toutefois, le rapport n'étant pas exactement le même, dans les différentes racines, la teneur en eau n'offre pas une indication suffisante quant au dosage du sucre (voir nos 6, 23 et 38 pour exemple).

La densité du jus est un meilleur indice, en ce sens que, lorsqu'elle excède 1.07, les betteraves peuvent être considérées comme étant riches en sucre et de qualité supérieure. A une faible densité du jus

correspond invariablement une faible teneur p. 100 en sucre. (Voir analyses n$^{os}$ 7 et 34 pour exemple.) Bien que le jus des racines de petites dimensions pèse généralement plus que celui des racines les plus lourdes, il y a des exceptions, surtout lorsque ces dernières ont atteint leur pleine maturité (voir n$^{os}$ 8 et 34.)

Les analyses montrent encore qu'il est possible de produire de grosses betteraves à rendement plus que moyen en sucre (voir 11 et 13 par rapport à 21, 11 et 35, etc.) ; c'est le but que doit chercher à atteindre le cultivateur, et pour Vœlcker il n'est pas douteux qu'en choisissant soigneusement la graine, en donnant les soins de culture et d'entretien nécessaires, ainsi que les engrais appropriés aux diverses terres, on n'arrive à produire couramment en Angleterre, de 50,000 à 60,000 kilogr. à l'hectare de betteraves à sucre, satisfaisant les fabricants.

Les betteraves blanches de Silésie qui atteignent plus tôt leur maturité sous le climat anglais, paraissent mieux convenir, étant moins chargées d'eau et plus riches en sucre, que les variétés à peau et à collet rouges.

Vœlcker a poursuivi ses recherches comparatives sur la composition des betteraves, en analysant deux racines de Silésie venues en Hollande, deux racines obtenues à Lodge Farm, après arrosage à l'aide des eaux d'égout de Londres, et nombre de racines cultivées en Écosse et dans divers comtés anglais, à l'aide des graines remises par M. Duncan. Les analyses de ces betteraves sont rapportées dans le tableau LXXIX.

Des deux variétés de racines venues de Hollande, la première (n° 1), bien supérieure à la seconde (n° 2), n'est pourtant pas aussi saccharifère que les betteraves cultivées à Lavenham, dans la même saison.

Les deux racines n$^{os}$ 3 et 4, cultivées à Lodge Farm, près de Barking, avec l'eau des égouts de Londres, offrent cette particularité que le n° 3 a la teneur en sucre la plus élevée de toutes les betteraves analysées en 1868 et que le n° 4, renfermant 88 p. 100 d'eau, est la plus lourde qui ait été pesée. Autant la première offrait un tissu fin et ferme, autant la seconde se caractérisait par un tissu lâche, spongieux et à noyau en décomposition. Malgré sa teneur en sucre excédant 13 p. 100, la betterave rouge de Lodge Farm ren-

TABLEAU LXXIX. — Composition de betteraves de Silésie de diverses localités.

| | RACINES de Hollande. | | RACINES de Lodge Farm. | | BETTERAVES DU NORFOLK. | | BETTERAVES DU BERKSHIRE. | | BETTERAVES DU BUCKINGHAM. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pourpre. 1. | Rose. 2. | Rouge. 3. | Blanche. 4. | Blanche petite. 5. | Blanche grosse. 6. | Rouge. 7. | Blanche. 8. | Rouge. 9. | Blanche. 10. |
| Poids de la racine (kil.) | 1,21 | 0,83 | 0,91 | 1,80 | 0,45 | 0,91 | 0,82 | 1,02 | 1,16 | 1,32 |
| Densité du jus | 1,065 | 1,054 | 1,072 | 1,046 | 1,059 | 1,056 | 1,056 | 1,046 | 1,066 | 1,059 |
| A la température (centigrade) de | 15°5 | 15°5 | 17°5 | 14° | 15°5 | 15°5 | 17°5 | 17°5 | 16°5 | 16°5 |
| *Composition* | | | | | | | | | | |
| Eau | 82.79 | 85.67 | 80.79 | 87.94 | 84.32 | 85.22 | 85.23 | 86.71 | 82.35 | 83.93 |
| Composés albuminoïdes[1] | 1.12 | 1.91 | 0.88 | 1.26 | 1.28 | 1.51 | 1.70 | 2.13 | 1.55 | 1.76 |
| Fibre brute | 4.07 | 3.40 | 3.32 | 3.08 | 3.51 | 4.11 | 2.92 | 3.13 | 3.25 | 3.21 |
| Sucre cristallisable | 10.56 | 7.42 | 13.19 | 6.05 | 9.42 | 7.46 | 8.86 | 6.67 | 11.09 | 9.31 |
| Pectine, matières colorées, etc | 0.45 | 0.33 | 0.91 | 0.48 | 0.48 | 0.55 | 0.47 | 0.50 | 0.52 | 0.63 |
| Matière minérale (cendres) | 1.01 | 1.27 | 0.91 | 1.19 | 0.99 | 1.15 | 0.82 | 0.86 | 1.24 | 1.16 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 0.18 | 0.306 | 0.124 | 0.202 | 0.206 | 0.243 | 0.273 | 0.341 | 0.248 | 0.283 |

TABLEAU LXXIX. — Composition des betteraves de Silésie de diverses localités. (*Suite.*)

| | BETTERAVES CULTIVÉES EN ÉCOSSE. | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | AYRSHIRE. | | | Peau verte. 14. | Peau blanche. 15. | Longue rouge. 16. | Rouge. 17. | Blanche. 18. | Rose. 19. |
| | Rouge. 11. | Blanche. 12. | Rose. 13. | | | | | | |
| Poids de la racine (kil.) | 0,49 | 1,35 | 1,43 | 1,46 | 1,43 | 1,31 | 1,32 | 1,29 | 1,20 |
| Densité du jus | 1,058 | 1,067 | 1,060 | 1,057 | 1,053 | 1,057 | 1,053 | 1,065 | 1,061 |
| A la température (centigrade) de | 19° | 18° | 14°5 | 15° | 15° | 16°5 | 16°5 | 17° | 17° |
| *Composition.* | | | | | | | | | |
| Eau | 85.21 | 81.56 | 83.36 | 84.38 | 86.02 | 85.06 | 86.18 | 82.17 | 83.96 |
| Composés albuminoïdes [1] | 0.93 | 1.50 | 1.41 | 1.24 | 1.40 | 1.28 | 0.84 | 1.47 | 1.27 |
| Fibre brute (pulpe) | 3.53 | 3.28 | 2.88 | 3.05 | 2.65 | 3.08 | 2.73 | 3.26 | 3.12 |
| Sucre cristallisable | 8.65 | 12.18 | 10.46 | 9.50 | 8.43 | 8.96 | 8.45 | 11.24 | 9.69 |
| Pectine, matières colorées, etc | 0.44 | 0.57 | 0.83 | 0.76 | 0.31 | 0.43 | 0.44 | 0.84 | 0.75 |
| Matière minérale (cendres) | 1.24 | 0.91 | 1.06 | 1.07 | 1.19 | 1.19 | 1.36 | 1.02 | 1.21 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 0.113 | 0.240 | 0.227 | 0.199 | 0.225 | 0.205 | 0.135 | 0.236 | 0.204 |

ferme moins de matières azotées et minérales que toutes les autres racines de 1868 soumises à l'analyse. A en juger par l'aspect et la composition chimique, la betterave blanche n° 4 paraît avoir été trop forcée par l'arrosage. Quoique la pratique de l'arrosage à l'eau d'égout ne soit pas bien établie, on peut dire qu'en général il y a grand profit à arroser à doses répétées les betteraves, pendant les deux ou trois premiers mois de végétation. Les feuilles se développent alors avec vigueur en vue de l'élaboration du sucre qui a lieu plus tard dans la racine. Plus l'alimentation par le sol est écartée pendant les mois d'été et plus la betterave mûrit en augmentant sa richesse saccharine. Il faut donc éviter d'arroser pendant les deux ou trois derniers mois de croissance.

On a été trop enclin à croire que les étés en Angleterre ne sont pas assez chauds pour amener la betterave à pleine maturité. Si cette culture échoue, ce ne sera pas assurément pour ce motif. On sait d'ailleurs par expérience que, dans le centre de la France ou de l'Allemagne, et dans le Midi, elle ne rivalise pas avec celle du Nord où la température de l'été est bien moins élevée. D'ailleurs, il ne s'agit pas autant pour la formation du sucre, de chaleur, que d'un ciel non couvert et d'un temps sec pendant les mois d'automne. Plus il tombe d'eau dans les premiers mois et mieux la récolte réussira si l'automne suivant est sec. Il est permis pour cela de conclure que dans les comtés du Sud et du Sud-Ouest de l'Angleterre, comme sur les côtes d'Irlande, où la fin de l'été et l'automne sont le plus souvent chauds et humides, la culture de la betterave n'est pas appelée à réussir aussi bien que dans les comtés du Nord et de l'Est et même en Écosse.

Les analyses nos 11 à 19 de betteraves cultivées en 1868 en Écosse, à l'aide des graines envoyées par M. Duncan, confirment cette appréciation. De grosse dimension, sauf le n° 11, et d'une teneur relativement élevée en eau, les racines dosent en moyenne plus de sucre (9.73 p. 100) que celles obtenues en Angleterre, tout en offrant l'avantage de renfermer moins de matières azotées et de sels.

Les betteraves nos 5 à 10 des comtés de Norfolk, de Berks et de Buckingham, ne présentent pas une moyenne aussi élevée, quoique suffisante (8.8 p. 100).

L'influence de la mauvaise fumure est démontrée par la composition des betteraves cultivées en 1865 aux environs de Cambridge et provenant de bonnes graines françaises, mais auxquelles on avait appliqué au printemps, comme pour des mangolds ordinaires, une grosse fumure de fumier frais. Les analyses des racines de quatre variétés, obtenues de la sorte, figurent dans le tableau LXXX, nos 1 à 4. Nous y avons joint les analyses, faites également par Vœlcker, de deux betteraves de Silésie, variété blanche, cultivées en 1868, avec excès de fumier (nos 5 et 6). D'un poids excessif, correspondant à une teneur en eau exceptionnelle, toutes ces racines où abondent les composés albuminoïdes et la matière minérale, ne peuvent convenir, vu leur pauvreté en sucre, à la fabrication.

**TABLEAU LXXX. — Composition des betteraves de diverses variétés, fumées à l'excès.**

| | BETTERAVES DE CAMBRIDGE (graines françaises). 1865. | | | | BETTERAVES Silésie variété blanche. 1868. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Toupé blanche choisie. 1. | Blanche commune. 2. | Rose ordinaire. 4. | Toupé rose choisie. 4. | 5. | 6. |
| Poids de la racine (kil.). . . . | » | » | » | » | 5,15 | 2,95 |
| Densité du jus. . . . . . . . | » | » | » | » | 1,043 | 1,055 |
| A la température centigrade de. | » | » | » | » | 18° | 18° |
| *Composition.* | | | | | | |
| Eau. . . . . . . . . . . . | 89.34 | 89.42 | 90.63 | 90.47 | 92.58 | 88.13 |
| Composés albuminoïdes [1] solubles . . . | 1.75 | 1.19 | 1.63 | 1.76 | 1.40 | 2.16 |
| Composés albuminoïdes [1] insolubles. . . | 0.31 | 0.31 | 0.12 | 0.25 | | |
| Fibre brute (pulpe). . . . . . | 1.72 | 1.70 | 1.60 | 1.77 | 1.73 | 2.74 |
| Sucre cristallisable. . . . . . | 5.22 | 5.90 | 3.94 | 3.54 | 2.22 | 4.82 |
| Pectine, matière colorante, etc. . | 0.21 | 0.08 | 0.80 | 0.78 | 0.47 | 0.44 |
| Matières minérales solubles. . . . . . | 1.38 | 1.33 | 1.13 | 1.28 | 1.60 | 1.71 |
| Matières minérales insolubles. . . . . | 0.07 | 0.07 | 0.15 | 0.07 | | |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote. . . . . . | 0.33 | 0.24 | 0.28 | 0.32 | 0.225 | 0.347 |

Il en est de même des betteraves de Silésie cultivées par M. Duncan, pour essai, dans un sol sablonneux, dans un sol fortement fumé et sans engrais, et dans un terreau riche. Les analyses de ces betteraves rapportées dans le tableau LXXXI viennent à l'appui des déductions, déjà énoncées, à savoir que, malgré leur faible poids, les racines, pour la plupart, contenaient beaucoup d'eau et conséquemment peu de sucre et que celles plus fortement fumées (nos 3 et 4) ou cultivées dans le terreau (nos 7 et 8), étaient moins saccharifères que les racines venues sans engrais. Vœlcker ajoute que, pourvues à l'excès de matières azotées et salines, les betteraves fumées et cultivées dans le terreau contenaient en outre des quantités notables de nitrates, décrépitant par la combustion des racines.

*Campagnes de 1869 et 1870.* — La composition des betteraves cultivées en Grande-Bretagne dans les années 1869 et 1870 a été également déterminée sur de nombreux échantillons et accompagnée de remarques utiles sous le rapport de la culture [1].

Les deux tableaux LXXXII et LXXXIII réunissent les analyses de Vœlcker pour chacune de ces années.

*Tableau LXXXII (1869).* — Les betteraves nos 1 à 4 ont été cultivées dans la même ferme du Berkshire, sur un sol argileux, naturellement tenace, mais bien ameubli. Chacune des analyses résulte d'une moyenne de deux racines. Les différences sous le rapport saccharifère qu'offrent ces betteraves peuvent résulter de différences dans la composition du sol ou dans l'engrais appliqué. De toutes manières, il est indispensable pour assurer une bonne culture de la betterave que le sol soit complètement et profondément labouré. La partie, en effet, des racines qui se développent hors du sol est moins riche en sucre que la partie inférieure restée en terre, c'est ce que démontre l'analyse des deux parties d'une de ces mêmes betteraves du Berkshire :

1. *Sugar beets and beetroot distillation*, janvier 1871.

| | PARTIE inférieure. | PARTIE hors de terre. |
|---|---|---|
| Poids de chaque partie | 1kgr,13 | 0kgr,14 |
| Densité du jus | 1,053 | » |
| — à la température de | 15° | » |
| Eau | 86.05 | 87.20 |
| Composés albuminoïdes | 0.82[1] | 2.39[2] |
| Fibre brute (pulpe) | 3.08 | 3.73 |
| Sucre cristallisable | 8.05 | 4.24 |
| Pectine, matière colorante, etc. | 0.89 | 0.40 |
| Matières minérales (cendres) | 1.11 | 2.04 |
| | 100.00 | 100.00 |

1. Contenant azote . . . . . . . . . . . . 0.131
2. — — . . . . . . . . . . . . 0.382

Ainsi la partie hors de terre renferme moitié moins de sucre que celle en terre, et abonde en matières azotées et salines qui sont un obstacle à l'extraction du sucre. C'est pourquoi, en général, la tête des betteraves est tranchée dans les sucreries, avant la mise en pulpe.

Les betteraves 5 et 6, ou betteraves monstres, obtenues à Buscot Park (Berkshire), se signalent par leur teneur excessive en eau et leur pauvreté en sucre, en même temps que par leur dosage élevé en matières albuminoïdes et minérales qui les rendent impropres à la fabrication.

Les racines 7 et 8 appartenant aux variétés françaises collet rose et Lauthier, ainsi que l'analyse moyenne n° 9 résultant du dosage de 15 lots de racines cultivées à Lavenham (Suffolk), témoignent de la supériorité des betteraves de dimensions moyennes et confirment les résultats obtenus l'année précédente dans le comté de Suffolk.

Sous les nos 10 et 11 figure la composition de betteraves cultivées dans le comté d'Ayr, en Écosse, par l'honorable Kennedy; l'analyse n° 11 est la moyenne de trois essais de betteraves. L'ensemble indique une teneur très médiocre en sucre. Ces betteraves ne valent guère mieux que des mangolds ordinaires.

Les trois analyses nos 12, 13 et 14 ont été exécutées sur des betteraves cultivées à Glasnevin, en Irlande, pour essai d'ensemencement et d'engrais.

TABLEAU LXXXI. — Composition des betteraves de Silésie cultivées dans différentes conditions de sol et de fumure (1868).

| | SOL SABLONNEUX. | | FORTE FUMURE. | | SANS ENGRAIS. | | TERREAU RICHE. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Peau rouge. 1. | Blanche. 2. | Rouge. 3. | Blanche. 4. | Rouge. 5. | Blanche. 6. | Rouge. 7. | Blanche. 8. |
| Poids de la racine (kilog.) | 0,68 | 0,41 | 0,98 | 1,06 | 1,08 | 0,99 | 0,57 | 0,62 |
| Densité du jus. | 1,048 | 1,050 | 1,046 | 1,040 | 1,050 | 1,050 | 1,050 | 1,042 |
| A la température centigrade de | 19°5 | 19°5 | 21° | 19°5 | 20° | 20° | 19°5 | 19°5 |
| *Composition.* | | | | | | | | |
| Eau | 88.21 | 86.02 | 87.32 | 89.62 | 85.63 | 86.47 | 86.71 | 88.10 |
| Composés albuminoïdes [1] | 2.12 | 2.86 | 2.63 | 2.38 | 1.60 | 2.12 | 2.76 | 2.74 |
| Fibre brute (pulpe) | 3.07 | 3.59 | 3.21 | 2.54 | 2.87 | 2.65 | 2.58 | 2.86 |
| Sucre cristallisable | 4.51 | 5.38 | 4.55 | 3.17 | 7.88 | 6.68 | 5.79 | 3.85 |
| Pectine, matière colorante, etc. | 0.40 | 0.46 | 0.35 | 0.38 | 0.73 | 0.55 | 0.40 | 0.39 |
| Matière minérale (cendres) | 1.69 | 1.69 | 1.94 | 1.91 | 1.29 | 1.53 | 1.76 | 2.06 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 0.340 | 0.459 | 0.421 | 0.381 | 0.256 | 0.340 | 0.443 | 0.439 |

TABLEAU LXXXII. — Composition des betteraves cultivées en Grande-Bretagne, en 1869.

| | ANGLETERRE. | | | | | | | | | ÉCOSSE. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | BERKSHIRE. | | | | BUSCOT PARK. | | VARIÉTÉS FRANÇAISES. | | SUF-FOLK. | AYRSHIRE. | |
| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. |
| Poids moyen des racines (kil.) | 0,59 | 0,65 | 1,25 | 0,79 | 7,25 | 5,51 | 0,93 | 0,74 | » | 1,53 | 1,93 |
| Densité du jus | 1,070 | 1,071 | 1,056 | 1,051 | 1,035 | 1,031 | 1,056 | 1,065 | 1,062 | 1,013 | 1,015 |
| — à la température centigrade de | 22° | 22° | 15° | 15° | 15° | 15° | 15° | 15° | 17°5 | 14° | 14° |
| *Composition.* | | | | | | | | | | | |
| Eau | 81 28 | 81.71 | 81.40 | 85.91 | 91.35 | 91.50 | 83.75 | 81.08 | 82.16 | 89.08 | 89.17 |
| Composés albuminoïdes [1] | 1.21 | 0.98 | 0.91 | 0.87 | 1.35 | 1.01 | 0.93 | 0.78 | 0.81 | 1.91 | 1.60 |
| Fibre brute (pulpe) | 4.01 | 4.02 | 3.04 | 3.73 | 1.72 | 1.90 | 2.98 | 2.71 | 3.87 | 2.16 | 2.19 |
| Sucre cristallisable | 11.87 | 12.02 | 9.14 | 7.98 | 4.05 | 3.89 | 10.56 | 10.98 | 11.06 | 5.04 | 5.29 |
| Pectine, matière colorante, etc. | 0.63 | 0.45 | 0.51 | 0.41 | 0.31 | 0.36 | 0.62 | 0.68 | 0.66 | 0.34 | 0.30 |
| Matière minérale (cendres) | 0.97 | 0.82 | 0.97 | 1.10 | 1.19 | 1.31 | 1.16 | 0.77 | 1.14 | 1.14 | 1.45 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 0.199 | 0.157 | 0.145 | 0.139 | 0.216 | 0.167 | 0.149 | 0.125 | 0.128 | 0.311 | 0.256 |

TABLEAU LXXXII. — Composition des betteraves cultivées en Grande-Bretagne, en 1869. (*Suite.*)

| | IRLANDE. | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | GLASNEVIN. | | | KILKENNY. | | | | | | | | |
| | 12. | 13. | 14. | 15. | 16. | 17. | 18. | 19. | 20. | 21. | 22. | 23. |
| Poids moyen des racines (kil.) | 1,10 | 0,83 | 1,21 | 1,25 | 1,81 | 1,53 | 1,65 | 1,81 | 1,02 | 1,65 | 1,31 | 1,81 |
| Densité du jus | 1,050 | 1,055 | 1,048 | 1,043 | 1,050 | 1,050 | 1,060 | 1,045 | 1,066 | 1,054 | 1,057 | 1,051 |
| — à la température centigrade de | 19°2 | 15°2 | 16° | 14°7 | 19°2 | 19°2 | 19° | 19°3 | 15°5 | 16°5 | 16° | 18° |
| *Composition.* | | | | | | | | | | | | |
| Eau | 85.60 | 85.59 | 89.06 | 86.30 | 87.70 | 87.78 | 81.05 | 88.65 | 82.79 | 86.70 | 86.06 | 87.12 |
| Composés albuminoïdes [1] | 1.17 | 1.66 | 1.27 | 0.83 | 1.18 | 0.72 | 2.32 | 1.40 | 1.56 | 1.56 | 1.66 | 1.99 |
| Fibre brute (pulpe) | 2.87 | 3.06 | 2.48 | 2.98 | 2.37 | 2.33 | 2.79 | 2.89 | 3.43 | 2.90 | 2.98 | 2.96 |
| Sucre cristallisable | 8.56 | 7.87 | 6.73 | 8.26 | 6.51 | 7.22 | 8.94 | 5.37 | 10.91 | 6.79 | 7.53 | 6.18 |
| Pectine, matière colorante, etc. | 0.51 | 0.75 | 0.45 | 0.14 | 0.50 | 0.96 | 0.43 | 0.33 | 0.46 | 0.74 | 0.44 | 0.42 |
| Matière minérale (cendres) | 0.96 | 1.07 | 0.98 | 1.19 | 1.44 | 0.99 | 1.47 | 1.36 | 0.85 | 1.22 | 1.33 | 1.33 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 0.236 | 0.267 | 0.204 | 0.132 | 0.237 | 0.116 | 0.372 | 0.225 | 0.250 | 0.251 | 0.267 | 0.319 |

N° 12; semis en lignes à 0m,15 de distance, avec écartement de 0m,53 entre les lignes, sans engrais. La récolte précédente de mangolds avait reçu 30,000 kilogr. de fumier à l'hectare. Récolte de betteraves en 1869 : 33 tonnes à l'hectare.

N° 13; semis en lignes à 0m,15 de distance, avec écartement de 0m,68 entre les lignes; engrais appliqué à raison de 30,000 kilogr. Récolte précédente, navets de Suède. Récolte de betteraves en 1869, 48 tonnes à l'hectare.

N° 14; semis en lignes comme pour le n° 12; engrais appliqué à raison de 60,000 kilogr. de fumier. Récolte précédente; avoine suivie de navette. Récolte de betteraves en 1869, 26 tonnes à l'hectare.

Les betteraves n° 12 obtenues sans engrais sont les plus riches en sucre (8.56 p. 100); celles n° 13 ayant reçu une fumure modérée sont moins riches (7.87 de sucre p. 100) et finalement les racines n° 14 lourdement fumées contiennent le moins de sucre; 6.73 p. 100. Il y a lieu de remarquer, en outre, que l'ensemencement dans ces essais s'était fait tardivement, au commencement du mois de mai, les racines à cause de l'application du fumier n'avaient pas pu atteindre leur pleine maturité.

Les racines nos 15 à 23 proviennent de diverses fermes du comté de Kilkenny, en Irlande, où elles ont été cultivées sur l'initiative de l'honorable Agar Ellis, dans le but de connaître les qualités saccharifères de la betterave sous le climat Irlandais. Sauf le n° 20 correspondant à un lot de racines, venues à Dunbell sur une terre argileuse compacte, pour lesquelles le dosage du sucre atteint 10.91 p. 100, les autres lots indiquent une teneur moyenne, inférieure à celle que donnent les betteraves de Suffolk.

Tableau LXXXIII (1870). — Les analyses 1 à 3 ont été exécutées sur une moyenne de 4 racines par lot. La moyenne de ces analyses indique une teneur saccharifère élevée, et témoigne de l'excellence du climat du Berkshire pour la culture.

Les betteraves nos 4 et 5, obtenues dans le comté d'York (celle n° 5 étant une moyenne de 6 racines de petites dimensions), offrent une bonne composition : abondance de sucre et peu de matières azotées et minérales.

TABLEAU LXXXIII. — Composition des betteraves cultivées en Angleterre et en Irlande, en 1870.

| | ANGLETERRE. | | | | | | | IRLANDE. | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | BERKSHIRE (Silésie blanche). | | | YORKSHIRE. | | SURREY. | | COMTÉ DE KILKENNY. | | | | | | | | | |
| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. | 13. | 14. | 15. | 16. | 17. |
| Poids moyen des racines (kil.) | 0,59 | 0,51 | 0,49 | 1,35 | 0,59 | 1,35 | 2,78 | 0,78 | 1,23 | 0,94 | 0,78 | 1,42 | 1,00 | 1,40 | 0,43 | 0,66 | 0,76 |
| Densité du jus | 1,076 | 1,075 | 1,070 | 1,058 | 1,068 | 1,066 | 1,052 | 1,079 | 1,068 | 1,070 | 1,051 | 1,065 | 1,060 | 1,058 | 1,071 | 1,076 | 1,079 |
| — à la températ. centigr. de | 19°2 | 21° | 19°2 | 22° | 15°2 | 18°5 | 22° | 20° | 18°7 | 16°5 | 17° | 16° | 17°5 | 16° | 17° | 17°5 | 18°7 |
| *Composition.* | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eau | 79.23 | 79.81 | 80.98 | 84.41 | 80.78 | 82.29 | 85.45 | 76.58 | 80.12 | 79.93 | 82.10 | 81.99 | 83.49 | 83.96 | 79.10 | 77.64 | 77.88 |
| Composés albuminoïdes [1] | 1.82 | 1.92 | 1.55 | 0.95 | 0.95 | 1.23 | 1.45 | 2.10 | 1.11 | 1.11 | 0.78 | 1.12 | 1.43 | 1.50 | 2.01 | 1.75 | 1.57 |
| Fibre brute (pulpe) | 4.18 | 4.20 | 3.20 | 2.60 | 3.65 | 3.17 | 2.40 | 5.01 | 3.42 | 4.01 | 3.31 | 3.48 | 3.38 | 3.10 | 4.36 | 1.42 | 4.30 |
| Sucre cristallisable | 13.31 | 12.51 | 12.72 | 10.83 | 13.27 | 11.78 | 9.06 | 14.81 | 13.69 | 13.34 | 12.42 | 11.96 | 10.07 | 9.89 | 12.77 | 14.69 | 14.78 |
| Pectine, matière colorante, etc. | 0.45 | 0.51 | 0.47 | 0.67 | 0.47 | 0.47 | 0.41 | 0.66 | 0.59 | 0.61 | 0.49 | 0.52 | 0.58 | 0.57 | 0.62 | 0.69 | 0.68 |
| Matière minérale (cendres) | 1.01 | 0.99 | 1.08 | 0.91 | 0.83 | 1.06 | 1.23 | 0.84 | 0.77 | 0.97 | 0.87 | 0.93 | 1.05 | 0.98 | 1.14 | 0.81 | 0.79 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 0.292 | 0.308 | 0.248 | 0.152 | 0.152 | 0.198 | 0.232 | 0.337 | 0.178 | 0.178 | 0.126 | 0.179 | 0.230 | 0.241 | 0.326 | 0.280 | 0.252 |

Il en est de même des betteraves de grosses dimensions nos 6 et 7, cultivées dans le comté de Surrey, et qui titrent entre 9 et 12 p. 100 de sucre.

Les analyses nos 8 à 17 se rapportent à une série de lots de racines obtenues dans d'excellentes conditions dans le comté de Kilkenny, en Irlande ; chaque analyse portant sur 4 ou 6 betteraves de chacun des lots. Comme teneur en sucre cristallisable,

| | | | |
|---|---|---|---|
| 3 | des lots | ont donné | près de 15 p. 100. |
| 2 | — | — | 13.5 p. 100. |
| 3 | — | — | de 12 à 12.75 p. 100. |
| 2 | — | — | environ 10 p. 100. |

Quelque favorable qu'ait été l'année 1870 pour la culture des racines en Grande-Bretagne, il n'en est pas moins hors de doute que la betterave, étant donnés les résultats des trois années examinées par Vœlcker, peut s'y cultiver avec succès, moyennant un rendement à l'hectare de 45,000 à 50,000 kilogr. de racines, aussi saccharifères que celles de Belgique ou de France.

D. — *Pulpe des betteraves à sucre.*

La pulpe de betteraves, ou la partie fibreuse des racines, telle qu'elle sort des sacs après la compression, est le plus souvent cédée en retour aux fermiers qui ont livré la betterave. Elle est alors assez sèche, d'un blanc grisâtre et ne tarde pas à devenir légèrement acide, si on la conserve sans emploi. Comme elle ne renferme généralement que 70 à 72 p. 100 d'eau, elle représente une bien plus forte proportion p. 100 de matière solide que les racines dont elle provient.

Vœlcker a déterminé comparativement la composition de la pulpe livrée par la sucrerie Duncan à Lavenham, et de pulpes venues de France et de Belgique[1]. Le tableau LXXXIV reproduit ses analyses.

La pulpe n° 2 provenant de France offre une composition à peu près identique à celle de Lavenham sous le rapport de la teneur en eau et en matières albuminoïdes. Toutes deux se valent comme nourriture. La pulpe n° 3 provenant de France également, renferme 7

1. *On beet-root pulp,* janvier 1870.

p. 100 d'eau en plus que le n° 2; son goût fortement acide était dû à la présence de l'acide lactique. C'est à cet acide que la pulpe doit la propriété de pouvoir se conserver et d'être rendue plus digestible pour les animaux, bêtes bovines et moutons, qui consomment de préférence la pulpe ensilée. Autrement, la composition de la pulpe fraîche et de la pulpe conservée (n° 4) diffère très peu.

**TABLEAU LXXXIV. — Composition de pulpes de betteraves, fraîches et conservées.**

| | PULPE de Lavenham (sucrerie Duncan). | PULPE DE FRANCE. | | PULPE de Belgique ensilée après 1 an. |
|---|---|---|---|---|
| | | N° 1 fraîche. | N° 2 conservée à l'air. | |
| Eau | 70.11 | 70.88 | 77.10 | 70.00 |
| Composés albuminoïdes (assimilation)[1] | 2.25 | 2.38 | 1.93 | 2.43 |
| Sucre | 3.39 | 6.59 | 1.19 | 18.67 |
| Mucilage, composés pectiques | 1.93 | | | |
| Acide lactique | » | » | 1.12 | |
| Fibre digestible | 15.13 | 16.43 | 16.07 | 6.48 |
| Fibre ligneuse (cellulose) | 5.32 | | | |
| Matière minérale (cendres) | 1.87 | 3.72 | 2.59 | 2.42 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1. Contenant azote | 0.361 | 0.382 | 0.39 | 0.39 |

*Valeur nutritive.* — Les éleveurs, et de ce nombre beaucoup en France, affirment que la pulpe de betteraves a une valeur nutritive égale, sinon supérieure, à celle des betteraves mêmes; ce qui paraît être en contradiction avec le fait que la racine dépourvue de son sucre engraisse au même degré que la racine sucrée. Cette affirmation ne peut vouloir dire, en effet, que 1,000 kilogr. de betteraves fraîches sont moins nourrissantes que 1,000 kilogr. de ces mêmes betteraves sans sucre ; mais bien que, poids pour poids, la pulpe est égale ou supérieure comme nourriture d'engrais à la racine elle-même. Comme toutefois aucune expérience rationnelle d'engraissement n'est venue décider leur valeur comparative, il convient de s'en rapporter à l'analyse.

Or l'analyse des végétaux, si l'on tient compte du sol, du climat, de la saison, des engrais et des autres circonstances qui influent sur la quantité et la qualité des produits, si l'on évite les extrêmes pour obtenir des moyennes dignes de confiance, ce qui n'est pas toujours facile, permet de déterminer exactement la valeur respective de chacun des produits au point de vue alimentaire. Le tableau suivant LXXXV, qui reproduit la composition moyenne des mangolds ordinaires et des betteraves de Silésie cultivées en Angleterre, en regard de celle de la pulpe de betteraves, fournit les éléments de cette détermination.

**TABLEAU LXXXV. — Composition moyenne du mangold, de la betterave et de la pulpe de sucrerie.**

| | COMPOSITION MOYENNE. | | |
|---|---|---|---|
| | Mangold ordinaire. | Betterave de Silésie. | Pulpe de betteraves (sucrerie). |
| Eau | 89.0 | 84.5 | 70.0 |
| Sucre | 5.5 | 9.5 | 1.5 |
| Composés albuminoïdes [1] | 1.5 | 1.5 | 2.5 |
| Fibre brute | 3.0 | 3.5 | 24.0 |
| Acide acétique | » | » | |
| Matière minérale (cendres) | 1.0 | 1.0 | 2.0 |
| | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 1. Contenant azote | 0.24 | 0.24 | 0.40 |

Ainsi, il résulte du tableau LXXXV que betteraves et mangolds contiennent la même proportion de matières azotées et minérales; mais que dans la betterave il y a de 4.5 à 5 p. 100 moins d'eau et près du double de sucre que dans le mangold. Comme la betterave renferme 15.5 p. 100 de matière sèche et le mangold 11 p. 100, il s'ensuit qu'une tonne de betteraves représentant 155 kilogr. de matière sèche et une tonne de mangolds 110 kilogr., eu égard à la plus forte proportion de sucre de la betterave, une tonne de racines de Silésie est l'équivalent, comme valeur nutritive, d'une tonne et demie de mangolds ordinaires.

La tonne de pulpe de betteraves renfermant 30 p. 100 de matière sèche, tandis que la tonne de betteraves en renferme 15.5 et celle de mangolds 11 p. 100, les 1,000 kilogr. de pulpe représentent 300 kilogr. de matière solide, c'est-à-dire 145 kilogr. de plus que le même poids de betteraves et 190 kilogr. de plus que le même poids de mangolds ; de telle sorte que le rapport à peu près exact est de 1 tonne de pulpe pour 2 de betteraves et pour 3 de mangolds.

Assurément la matière sèche d'une betterave ou d'un mangold est plus nutritive que celle de la pulpe, mais la question se pose entre les poids de chacune des matières sèches. Or, poids pour poids, la pulpe contient plus de substances albuminoïdes, beaucoup plus de fibre et peu de sucre. L'excédent de 4 kilogr. de sucre p. 100 de mangolds, ou de 8 kilogr. de sucre p. 100 de betteraves, compense-t-il l'excédent de 1 kilogr. de substances azotées et de 21 kilogr. de fibre qu'offrent 100 kilogr. de pulpe ou lui est-il supérieur? Telle est la question.

Il n'est pas douteux que la balance ne penche en faveur de la pulpe, d'autant plus que la fibre des mangolds et des betteraves arrachées avant leur pleine maturité, n'est jamais à l'état de finesse et de division qui permet, comme celui de la pulpe, l'assimilation rapide et la formation de la graisse chez les animaux. Vœlcker est amené ainsi à prévoir que des expériences d'engraissement, rationnellement conduites, démontreraient qu'une tonne de pulpe fraîche ou de pulpe conservée contenant la même proportion d'eau, équivaut comme nourriture d'engrais à 1.5 tonne de betteraves et à 2 tonnes de mangolds [1].

Suivant lui, il y aurait lieu, en raison du manque de substances albuminoïdes dans la pulpe, d'y mêler du tourteau de coton qui offre, en outre, l'avantage de remédier au relâchement des animaux nourris exclusivement de pulpe. Le mélange avec la pulpe d'une certaine quantité de farine de fèves, ou de tourteau pour les vaches laitières, et de farine de pois ou d'orge pour les porcs, ne peut être que très avantageux.

1. S'il en est autrement pour la pulpe des distilleries, plus pauvre que celle des sucreries en principes nutritifs, c'est que, par le procédé de distillation, les éléments solubles de la racine sont bien plus complètement épuisés.

# RECHERCHES

SUR LA

# RÉDUCTION DES NITRATES

## PAR LES ORGANISMES MICROSCOPIQUES

PAR

U. GAYON ET G. DUPETIT

1. La réduction plus ou moins complète de l'acide des nitrates, à l'état d'acide nitreux, de bioxyde d'azote, de protoxyde d'azote ou d'azote, a été signalée par plusieurs observateurs dans les eaux de drainage, dans la terre végétale et dans diverses fermentations. Il ne s'agit ici, à l'exclusion des décompositions purement chimiques, que des réactions qui se passent entre certaines limites de température et en présence de matières organiques.

2. 1° *Acide nitreux.* — Des nitrites ont été trouvés dans l'azotate de soude du Chili par Schœnhein[1], dans les eaux de drainage par MM. Lawes et Gilbert[2], dans la terre végétale par le colonel Chabrier[3] qui en a étudié avec beaucoup de soin le rôle et les variations, mais ces auteurs n'ont déterminé exactement ni leur origine ni leur mode de formation. Plus tard, M. Meusel a observé la transformation des nitrates en nitrites dans les eaux naturelles[4], et fait

1. *Rep. de chimie pure,* t. IV, p. 248. 1862. — Nous montrerons bientôt, dans un mémoire spécial, que la proportion des nitrites dans les nitrates de soude naturels peut s'accroître sous l'influence des infiniment petits, et déterminer certains accidents de fabrication dans les usines où l'on prépare le salpêtre par double décomposition chimique.

2. Rothamsted. *Trente années d'expériences agricoles,* p. 163.

3. *Annales de chimie et de physique,* 5e série, t. XXIII, p. 161. 1871.

4. *Journal de pharmacie et de chimie,* 4e série, t. XXII, p. 430. 1875.

voir que certaines substances, comme l'acide phénique, l'acide salicylique, l'acide benzoïque, l'entravent, tandis que d'autres, comme la cellulose, le sucre, l'alcool, la favorisent. Ce savant est le premier qui ait attribué la formation d'acide nitreux à la présence des bactéries.

Nous avons vérifié l'exactitude des observations de M. Meusel et constaté que les nitrites apparaissent presque toujours, si on laisse à l'air libre un bouillon tenant en dissolution de l'azotate de potasse ou de soude ; le liquide se trouble, se peuple d'organismes microscopiques et donne rapidement les réactions de l'acide azoteux.

3. Pour caractériser cet acide, nous avons employé soit l'iodure de potassium amidonné et l'acide acétique, soit le chlorhydrate de métaphénylène-diamine [1]. La première méthode donne, dans les solutions un peu concentrées, un précipité bleu qui se prête mal à des dosages comparatifs; la seconde, au contraire, donne une coloration rouge-brun très limpide et propre aux observations colorimétriques. Pour les dosages, nous avons utilisé cette dernière réaction et comparé, à l'aide du colorimètre Laurent, la couleur due au liquide étudié avec celle fournie par une solution titrée d'azotite de potasse pur.

Voici les volumes relatifs et la composition des solutions qui nous ont donné les meilleurs résultats :

Pour la teinte type, on met dans une fiole de 25 centimètres cubes :

1 centimètre cube de solution de chlorhydrate de métaphénylène-diamine à 1/2 p. 100 ;
1/2 centimètre cube d'une solution de nitrite de potasse à 5 grammes par litre ;
5 gouttes d'acide acétique pur ;

et l'on complète le volume avec de l'eau distillée.

En remplaçant la solution de nitrite de potasse par 1/2 centimètre cube du liquide à essayer, on obtient la teinte qui doit être comparée à la précédente.

---

1. Procédé Tiemann et Preusse (*Berichte der deutschen Chemischen Gesellschaft*, t. XI, p. 624. — *Journal de pharmacie et de chimie*, 4e série, t. XXIX, p. 195. 1879.

4. Le microbe qui, dans nos expériences, a produit le plus de nitrites[1], est un être anaérobie, constitué par de très petits bâtonnets mobiles formant peu de spores. Vu la difficulté de le séparer spécifiquement des autres micro-organismes de mêmes dimensions, nous le désignons seulement par la lettre *a*.

Si l'on sème une trace infiniment petite de ce microbe dans du bouillon additionné de 10 grammes de nitrate de potasse par litre, et renfermé dans des tubes longs et étroits, en présence d'une petite quantité d'air, ou dans une atmosphère d'acide carbonique, ou dans le vide, il s'y développe rapidement à la température de 35 degrés, et trouble le liquide dans toute sa masse, sans dégager la moindre quantité de gaz. En même temps, tout le nitrate se transforme en nitrite; une partie de l'oxygène disparu donne de l'acide carbonique qui se dissout à l'état de carbonate de potasse; le reste de l'oxygène sert au développement du microbe et à des oxydations dont l'étude n'a pas été faite.

Le microbe dont il s'agit se développe mal dans les liquides artificiels.

5. La plupart des organismes microscopiques sont doués de la même propriété réductrice, mais leur action décomposante ne va pas toujours, à beaucoup près, aussi loin. Rarement elle est nulle; nous n'avons en effet trouvé qu'un seul de ces êtres qui, tout en étant capable de vivre dans le bouillon nitraté, n'y donne pas de nitrite.

Parmi ceux qui produisent des nitrites, et que nous avons isolés, nous citerons, outre le microbe *a*, un second microbe *b*, également anaérobie, constitué par des bâtonnets allongés, immobiles, se résolvant rapidement en spores, et deux microbes aérobies : l'un, *c*, formé de longs filaments riches en spores produisant à la surface des liquides un voile épais et mucilagineux; l'autre, *d*, constitué par de petits bâtonnets immobiles, avec une seule spore dans chaque article, et formant à la surface des liquides une couche continue, peu épaisse et facile à désagréger.

1. Nos recherches sur les nitrites ont été résumées dans une note communiquée à l'Académie des sciences, le 26 décembre 1882. — (Voir aussi *Mémoires de la Société des sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 2e série, t. V, p. 36.)

Ces quatre microbes, cultivés parallèlement dans les mêmes conditions, ont donné les résultats suivants, avec du bouillon contenant 10 grammes d'azotate de potasse par litre :

| | Nitrate transformé en nitrite, par litre, en un jour. |
|---|---|
| Microbe *a*. | 9gr,6 |
| — *b*. | 2 ,8 |
| — *c*. | 6 ,8 |
| — *d*. | 5 ,6 |

6. Nous avons essayé également le microbe du choléra des poules, la bactéridie charbonneuse, le vibrion septique, dont les semences sont conservées à l'état de pureté au laboratoire de M. Pasteur. Nous avons obtenu, avec le bouillon nitraté à 10 grammes par litre :

| | NITRATE transformé en nitrite par litre | | |
|---|---|---|---|
| | en 1 jour. | en 3 jours. | en 6 jours. |
| Microbe du choléra des poules | 0gr,5 | 2gr,3 | 2gr,2 |
| Bactéridie charbonneuse | 0 ,1 | 2 ,0 | 3 ,4 |
| Vibrion septique | 0 ,8 | 0 ,9 | » |

On voit qu'avec ces organismes non seulement la production de nitrite est lente, mais encore qu'elle est limitée à des doses peu élevées et qu'elle est beaucoup moins facile qu'avec les autres microbes.

Il résulte de ce qui précède que l'on ne doit presque jamais trouver dans la nature des nitrates sans nitrites, puisque les germes des infiniment petits sont répandus à profusion dans l'air, la terre et les eaux.

7. Dans des recherches sur les variations de propriétés du ferment nitrique, M. Warington a vu se former de l'acide nitreux au sein de ses cultures, dès que l'épaisseur de la couche liquide devenait un peu grande [1]. On peut expliquer ce fait en admettant que l'oxydation par le même ferment nitrique se fait en deux périodes, dont la première donnerait précisément l'acide nitreux, ou en supposant, avec M. Duclaux [2], que deux ferments, l'un nitreux, l'autre nitrique, s'étaient développés simultanément.

---

1. *Bulletin de la Société chimique de Paris,* t. XXXIX, p. 614. 1883.
2. Duclaux, *Chimie biologique,* p. 714. 1883.

Nous pensons plus volontiers que les nitrites étaient dus, non à une oxydation partielle de la matière organique, mais à une désoxydation incomplète de l'acide nitrique déjà formé, soit que le ferment nitrique de M. Warington ne fût pas pur, soit, ce qui est moins probable, qu'il eût acquis des propriétés réductrices, en vivant en profondeur, hors de l'oxygène de l'air.

8. 2° *Bioxyde d'azote.* — La formation de ce gaz dans la réduction des nitrates a été signalée pour la première fois en 1868 par M. Th. Schlœsing[1], qui l'a obtenu mélangé avec de l'azote ou du protoxyde d'azote, dans la putréfaction de l'urine et dans la fermentation lactique du sucre, en présence du nitrate de potasse.

Des vapeurs nitreuses, dues à la réaction de l'air sur du bioxyde d'azote apparaissent souvent dans les distilleries, pendant la fermentation des jus de betteraves. M. Reiset et M. Th. Schlœsing[2] ont appelé successivement l'attention sur ce phénomène.

Il n'est pas rare de voir encore, dans certaines usines où l'on distille les mélasses de betteraves, de grosses bulles, de plusieurs décimètres de diamètre, venir crever à la surface des cuves de fermentation et former comme un nuage de vapeurs rutilantes. Dans ces cas, le rendement en alcool est toujours diminué. Si l'on observe au microscope une goutte du liquide sucré, on voit que la levûre alcoolique est rare, granuleuse, peu bourgeonnante, et souillée d'une infinité de microbes les plus variés. Ceux-ci nuisent au développement de la levûre, déterminent des fermentations secondaires et décomposent les nitrates contenus normalement dans les mélasses. M. Reiset a montré qu'on atténue ces accidents de fabrication[3] en ajoutant un excès d'acide dans les cuves.

9. On reproduit assez facilement les conditions où se forme le bioxyde d'azote, en mettant dans une étuve des flacons pleins de jus

1. *Comptes rendus*, t. LXVI, p, 237. — *Journal de pharmacie et de chimie*, 4e série, t. VIII, p. 213. 1868.

2. *Comptes rendus*, t. LXVI, p. 177. — *Journal de pharmacie et de chimie*, 4e série, t. VIII, p. 213. 1868.

3. D'après des renseignements qu'a bien voulu nous donner M. Reiset, il est nécessaire d'employer 2 litres d'acide sulfurique monohydraté par cuvier macérateur, contenant 1,000 kilogr. de racines en cossettes.

de betteraves non ensemencé ; une fermentation complexe s'établit, et le gaz qui se dégage est rutilant à l'air [1].

Le 26 octobre, nous avons rempli complètement de jus non stérilisé deux flacons A et B, de 300 centimètres cubes de capacité, munis de tubes abducteurs se rendant sous le mercure. Dans A, le jus était seul ; dans B, il contenait 5 grammes par litre d'azotate de potasse.

La fermentation a été lente ; elle a donné successivement :

Avec A :

| | Le 2 nov. | Le 19 nov. | Totaux. |
|---|---|---|---|
| Azote | 3cc,0 | 3cc,5 | 6cc,5 |
| Bioxyde d'azote | 2 ,2 | 3 ,5 | 5 ,7 |
| Acide carbonique | 3 ,7 | 6 ,5 | 10 ,2 |
| Totaux | 8cc,9 | 13cc,5 | 22cc,4 |

mélange dont la composition en centièmes est :

| | Le 2 nov. | Le 19 nov. | Moyennes. |
|---|---|---|---|
| Azote | 33.71 | 25.93 | 29.02 |
| Bioxyde d'azote | 24.72 | 25.93 | 25.45 |
| Acide carbonique | 41.57 | 48.14 | 45.53 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

Avec B :

| | Le 2 nov. | Le 13 nov. | Le 19 nov. | Totaux. |
|---|---|---|---|---|
| Azote | 2cc,6 | 6cc,0 | 2cc,8 | 11cc,4 |
| Bioxyde d'azote | 1 ,6 | 4 ,0 | 2 ,7 | 8 ,3 |
| Acide carbonique | 2 ,1 | 6 ,0 | 3 ,4 | 11 ,5 |
| Totaux | 6cc,3 | 16cc,0 | 8cc,8 | 31cc,2 |

d'où l'on déduit la composition centésimale :

| | Le 2 nov. | Le 13 nov. | Le 19 nov. | Moyennes. |
|---|---|---|---|---|
| Azote | 41.27 | 37.50 | 31.46 | 36.54 |
| Bioxyde d'azote | 25.40 | 25.00 | 30.34 | 26.60 |
| Acide carbonique | 33.33 | 37.50 | 38.20 | 36.86 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

Le 19 novembre, on met fin à l'expérience. En ouvrant les flacons, le goulot se remplit de vapeurs nitreuses. Au microscope, on voit

1. Voir *Mémoires de la Société des sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 2e série, t. V, p. 36.

dans A et B le même organisme, composé de petits bâtonnets immobiles, étranglés, isolés ou en chapelets, ressemblant au ferment lactique. Les liquides sont très filants et renferment encore du salpêtre non décomposé.

Les tentatives que nous avons faites pour isoler le microbe du bioxyde d'azote ont échoué. Dès les premières cultures dans des liquides stérilisés, la semence cessait de se développer ; c'est une étude à reprendre.

10. 3° *Protoxyde d'azote.* — La réduction du nitre à l'état de protoxyde d'azote a été également signalée par M. Schlœsing en 1868[1]. Ce gaz s'était dégagé seul dans du jus de tabac abandonné à la putréfaction en vase clos ; il était mélangé avec de l'azote et du bioxyde d'azote dans la fermentation lactique de l'eau sucrée.

MM. Dehérain et Maquenne[2], plus récemment, ont montré que le protoxyde d'azote apparaît encore dans la réduction des nitrates en présence de la terre végétale.

Nous avons aussi retrouvé ce gaz en mettant à l'étuve, comme MM. Dehérain et Maquenne, des flacons qui contenaient un mélange de terre, d'eau sucrée et de nitrate de potasse[3]. Dans une de nos expériences, commencée le 29 janvier, la proportion de protoxyde d'azote, qui était de 24 p. 100 le 31, au début de la fermentation, s'est régulièrement abaissée jusqu'à 6 p. 100. Pendant ce temps, le liquide n'avait point acquis d'acide butyrique, et le gaz dégagé était exempt d'hydrogène. Le 5 février, l'hydrogène a commencé à apparaître, mélangé à 4 p. 100 de protoxyde d'azote, à 91 p. 100 d'acide carbonique et à une trace d'azote; avec lui, la fermentation butyrique s'est développée. Le dégagement d'hydrogène a augmenté les jours suivants, et, chose inattendue, la réduction du nitrate de potasse est restée stationnaire.

Il semble donc qu'il y ait eu là deux fermentations successives : dans la première, le salpêtre seul a été décomposé ; dans la seconde, le sucre a subi la transformation butyrique sans réduire le nitrate res-

1. *Comptes rendus,* t. LXVI, p. 237.

2. *Comptes rendus,* t. XCV, p. 691, 732 et 854. 1882.

3. Voir *Mémoires de la Société des sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 3e série, t. II. Extraits des procès-verbaux, p. 11. 1884-1885.

tant. L'observation microscopique confirme cette hypothèse, car les bâtonnets du vibrion butyrique, rares au commencement, ne sont devenus nombreux qu'à la fin de l'expérience.

Mais cette conclusion ne peut être rigoureuse, étant donné le grand nombre d'organismes différents qui se sont multipliés en même temps que le vibrion butyrique.

Nous reprendrons plus loin l'expérience avec des organismes purs, et nous montrerons que la fermentation butyrique ne suffit pas pour expliquer la réduction des nitrates dans la terre, et que la formation de protoxyde d'azote dépend à la fois de la nature du ferment et de la nature de la matière organique du milieu.

11. 4° *Azote*. — La désoxydation complète des nitrates avec production d'azote seul a été observée par M. Th. Schlœsing dans la terre végétale [1]. Nous savons déjà qu'il a aussi trouvé ce gaz mélangé avec du protoxyde d'azote et du bioxyde d'azote dans une fermentation lactique du sucre en présence de l'azotate de potasse.

C'est la réduction à l'état d'azote et de protoxyde d'azote que nous étudierons spécialement dans les chapitres suivants.

12. Si l'on considère l'ensemble des recherches que nous venons de résumer, on constate qu'à l'exception de M. Meusel, aucun autre observateur n'a signalé avant nous la présence et le rôle des infiniment petits dans la décomposition des azotates.

MM. Dehérain et Maquenne [2] ont confirmé nos observations à ce point de vue, mais ils n'ont pas, non plus que M. Meusel, isolé à l'état de pureté les microbes trouvés dans leurs cultures.

13. Le présent mémoire comprend quatre chapitres :

Chapitre I. — Étude de quelques microbes dénitrifiants.
— II. — Produits de la réaction.
— III. — Mécanisme de la réduction.
— IV. — Applications.

1. *Comptes rendus*, t. LXXVII, p. 353. 1873.

2. Notre première note à l'Institut est du 9 octobre 1882 ; la première de MM. Dehérain et Maquenne est du 16 octobre suivant. Mais, dès le 20 juillet 1882, nous avons commencé, sur ce sujet, une série de communications à la Société des sciences physiques et naturelles de Bordeaux. (Voir *Mémoires de la Société*, 2e série, t. V, p. 31, 35 ; et 3e série, t. II. Extraits des procès-verbaux, p. 11 et 18. 1884-1885.)

## CHAPITRE PREMIER

### Étude de quelques microbes dénitrifiants.

14. Nous ne reviendrons pas, dans ce chapitre, sur la transformation des nitrates en nitrites; nous ne nous occuperons que de leur décomposition à l'état d'azote et de protoxyde d'azote.

15. *Expériences préliminaires.* — Citons d'abord nos premières expériences :

Le 7 avril 1882, on met à l'étuve à 30° un flacon complètement rempli d'eau d'égout, additionnée de 20 milligrammes d'azotate de potasse par litre, plus un centimètre cube d'urine putride pour semence; on recouvre le liquide d'une mince couche d'huile afin de l'isoler de l'air extérieur.

Le 10 juillet, il ne reste plus que 3 milligrammes de sel par litre[1]. On remplit de nouveau ce flacon avec une solution de 100 milligrammes de nitre par litre d'eau d'égout.

Le 17, il ne reste plus que 6 milligrammes de sel par litre.

Le 18, avec une partie du liquide précédent, on ensemence largement un flacon de cinq litres environ, qu'on remplit jusqu'au goulot d'eau d'égout filtrée et contenant en dissolution 200 milligrammes de salpêtre par litre. On met encore une couche d'huile pour empêcher le contact direct de l'air extérieur.

Le 19, après 24 heures seulement de séjour à la température de 30°, il ne reste plus que 88 milligrammes de sel par litre; la dénitrification a donc été de $\frac{112}{200} = 56$ p. 100.

Il s'est dégagé un peu de gaz azote.

L'observation microscopique montre que la destruction du nitrate s'est effectuée, dans tous ces flacons, au milieu d'organismes nom-

1. Tous nos dosages de nitrates ont été effectués sur la méthode de Th. Schlœsing, en mesurant le volume de bioxyde d'azote dégagé par l'action du protochlorure de fer très acide sur un volume donné de liquide à essayer. On a toujours opéré par comparaison avec une solution titrée de nitrate de potasse pur, dans les mêmes conditions de température et de pression. Toutes les fois que cela a été nécessaire, on a enlevé l'acide carbonique par la potasse et l'on a tenu compte d'un léger résidu d'azote.

breux et variés : bâtonnets longs et courts, mobiles et immobiles ; spirillums agiles ; monades.

Dans ces conditions, il était impossible d'attribuer avec certitude la réduction observée à la présence de ces microbes, et encore bien moins de dire quel est celui qui devait en être considéré comme l'agent véritable.

16. L'action de la chaleur et des antiseptiques ne tarda pas à nous convaincre que le phénomène était bien, comme nous le supposions, d'ordre physiologique.

Le 20 août, on remplit exactement trois matras Pasteur, préalablement stérilisés, de la même eau d'égout filtrée et additionnée de 1 gramme de nitre par litre.

Le matras *a* reçoit le liquide stérilisé, sans semence.

Le matras *b* reçoit le liquide stérilisé, mais ensemencé avec quelques gouttes de liquide d'une opération antérieure.

Le matras *c* reçoit le liquide non stérilisé et non ensemencé.

Le 23, *b* est légèrement trouble.

Le 24, *c* se trouble à son tour.

Le 27, *a* est resté limpide, sans organismes ; les deux autres sont très troubles et pleins de microbes variés.

L'analyse donne, pour le nitrate disparu :

| | |
|---|---|
| Dans *a*. . . . . . . . . . . . . . | néant. |
| — *b*. . . . . . . . . . . . . . | $0^{gr},81$ par litre. |
| — *c*. . . . . . . . . . . . . . | 0 ,88 — |

Donc, la chaleur, en tuant les microbes, a empêché la réduction du nitrate de potasse.

17. Avec les antiseptiques, même résultat.

Le 6 août, on met à 35 degrés des flacons pleins d'eau d'égout nitratée et stérilisée, avec les antiseptiques suivants :

| | | |
|---|---|---|
| Flacon *a* . . . . . . | $100^{mgr}$ | d'acide salicylique par litre. |
| — *b*. . . . . . | — | de salicylate de soude — |
| — *c*. . . . . . | — | d'acide phénique — |
| — *d*. . . . . . | — | de sulfate de cuivre — |
| — *e*. . . . . . | — | quelques gouttes de chloroforme avec lesquelles l'eau d'égout est agitée. |

Tous ces liquides reçoivent en outre une forte dose de semence prise dans une fermentation achevée.

La proportion de nitrate détruit a été successivement :

| | 8 août. | 10 août. | 26 août. |
|---|---|---|---|
| Dans le flacon *a*. | 0 p. 100 | 37 p. 100 | 74 p. 100 |
| — *b*. | 21 — | 42 — | 53 — |
| — *c*. | 11 — | 42 — | 79 — |
| — *d*. | néant. | néant. | néant. |
| — *e*. | néant. | néant. | néant. |

Le nitrate de potasse est donc resté intact pendant vingt jours avec deux des antiseptiques employés, le sulfate de cuivre et le chloroforme ; les liquides correspondants sont restés parfaitement limpides.

Quant à l'acide salicylique, le salicylate de soude et l'acide phénique, ils n'ont fait que ralentir la marche de la dénitrification. Les liquides ont donné du trouble, de la mousse, et se sont peuplés de microbes. Bien plus, l'acide salicylique a disparu dans *a*, et ne reste qu'à l'état de traces dans *b*; l'odeur d'acide phénique est complètement insensible dans *c*. Nous trouverons plus loin l'explication de ce fait, qui se produit même avec des doses plus élevées que dans l'expérience actuelle.

Il résulte de là qu'il y a corrélation entre la destruction des nitrates et le développement des infiniment petits.

18. *Purification des microbes dénitrifiants.* — Avant d'aller plus loin dans cette étude, il importait de préparer des microbes dénitrifiants à l'état de pureté. Nous avons employé pour cela les cultures dans des liquides stérilisés, en faisant varier successivement la composition de ces liquides, leur épaisseur, leur température, et en essayant sur la semence l'action de la chaleur, de la dilution, de l'âge, de l'acide carbonique, du vide, etc.[1].

19. Pour les cultures en profondeur, nous avons adopté le tube de la figure 1 qui n'est, comme on le voit, qu'une modification du matras Pasteur. Il a l'avantage de n'exiger que peu de liquide et peu de place. Le réservoir A n'a en effet qu'un centimètre à un centi-

1. Voir L. Grandeau, *Traité d'analyse des matières agricoles*, 2[e] édition, p. 586.

mètre et demi de diamètre extérieur, pour une capacité de 5 à 8 centimètres cubes.

Dans quelques cas, nous avons utilisé avec profit les dispositifs des figures 2 et 3 ; ils ont tous le même but : séparer en un très petit nombre d'opérations, même en une seule, le microbe qui convient le mieux à un liquide donné.

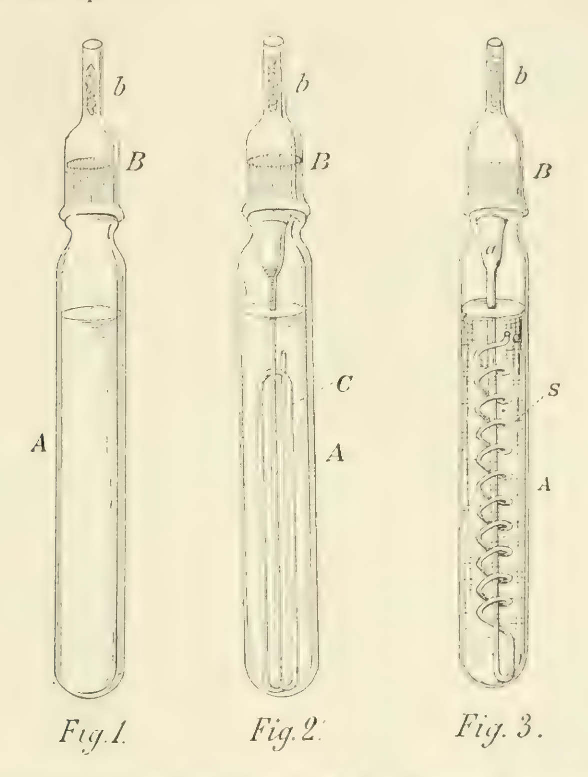



*Fig. 1.* *Fig. 2.* *Fig. 3.*

Les tubes A sont ceux de la figure 1, à l'intérieur desquels on introduit soit un tube C (fig. 2) plusieurs fois replié sur lui-même dans le sens vertical, soit un petit serpentin S (fig. 3), dont le tube n'atteint pas un millimètre de diamètre.

Ces appareils ayant été stérilisés et remplis d'un bouillon de culture convenable, on dépose, à l'aide d'un tube effilé, une goutte de semence impure dans l'ouverture *a*. Le microbe qui s'accommode le mieux du liquide nutritif, ou bien celui qui se trouve le plus anaérobie, se développe de préférence, et parcourt toute la longueur du

tube avant de gagner l'orifice *o* et de tomber dans le liquide extérieur. Il est rare que plusieurs êtres puissent ainsi cheminer parallèlement dans un tube capillaire, sur une longueur de plusieurs décimètres ; mais, comme ils peuvent se suivre à petite distance, il faut avoir soin de faire une nouvelle culture avec une goutte du liquide extérieur, dès que celui-ci est ensemencé.

Il ne faut pas attendre pour cela que le trouble s'y manifeste ; il est préférable d'y faire des prises très fréquentes, tous les quarts d'heure par exemple, à partir du moment où le trouble du liquide contenu dans le tube capillaire s'est propagé jusque dans le voisinage de l'extrémité *o*.

En recommençant l'opération deux ou trois fois, surtout avec des liquides variés, on arrive rapidement à la purification de l'espèce cherchée.

Si, dans les conditions de l'expérience, il y a production de gaz, les appareils ne peuvent convenir ; on change alors le liquide de culture.

20. Le dispositif de la figure 4 est destiné à rendre les mêmes services ; il est d'une construction plus difficile, mais d'une manipulation plus commode et plus sûre. Le serpentin S, au lieu d'être libre, est soudé par son orifice supérieur, en *t*, à un étranglement du tube A. On a soudé latéralement un réservoir à boule C, fermé par un bouchon conique à recouvrement B′. En déposant la semence impure en *a*, on n'a pas à craindre de la répandre dans le liquide extérieur ; puis, quand le microbe purifié est sorti du serpentin, on fait aisément les prises de la nouvelle semence en *a′*.

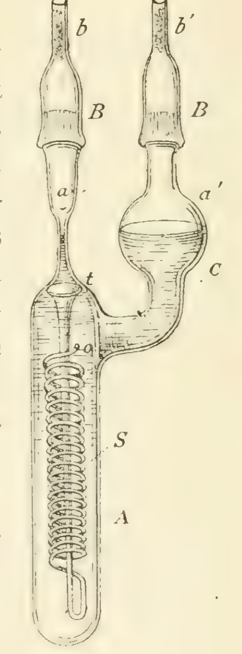


Fig. 4.

21. A l'aide des divers procédés ou appareils que nous venons d'indiquer, nous avons obtenu plusieurs variétés de microbes dénitrifiants, dont les germes se trouvaient primitivement soit dans l'eau d'égout, soit dans la terre végétale, soit dans les poussières de l'air. Il faut remarquer que la purification de tels êtres présente une facilité rela-

tive, grâce à la composition particulière des liquides de culture, dont le nitrate s'oppose au développement d'un grand nombre d'espèces.

Nous en avons spécialement étudié deux que nous allons maintenant décrire sous le nom de *Bacterium denitrificans*. Comme ces organismes ont de grandes ressemblances, nous les distinguerons seulement l'un de l'autre par les lettres $\alpha$ et $\beta$. C'est avec le premier, qui est le plus actif, que nous avons fait la plupart de nos expériences.

22. *Bacterium denitrificans* $\alpha$ (fig. 5). — Ce microbe est une bactérie de 0,4 à 0,6 $\mu$ de largeur et de 2 à 4 $\mu$ de longueur ; ses dimensions sont en général un peu plus grandes dans les liquides artificiels que dans les bouillons de viande.

Sa réfringence est faible et ses contours ne sont nettement accusés que dans les préparations colorées. Il est plus facile à observer dans les liquides artificiels que dans les bouillons.

Quand on examine au microscope une culture récente dans un milieu nitraté, on voit un assez grand nombre de bactéries immobiles, tandis que d'autres sont animées de mouvements parfois très vifs. Dans les préparations faites avec des liquides dépourvus de nitrates, peu d'instants après la mise en place du couvre-objet, les microbes mobiles sont relativement plus nombreux et leurs mouvements plus rapides ; au bout de quelques minutes, presque tous cessent de se mouvoir au centre de la préparation ; mais le mouvement continue vers les bords de la lamelle. Le contraste est bien plus frappant, si on laisse une bulle d'air sous le couvre-objet ; autour de cette bulle les microbes s'agitent avec une extrême vivacité ; la rapidité de leur allure est si grande qu'il est presque impossible de les suivre dans leurs déplacements ; tantôt ils décrivent des courbes irrégulières, tantôt ils vont en ligne droite, s'arrêtant parfois brusquement pour repartir en sens opposé ; souvent ils sont animés d'un mouvement d'oscillation rapide ou de vibration. Après un certain temps, les bactéries se rapprochent de plus en plus des bords de la bulle, si bien qu'elles ne peuvent alors que s'agiter sur place, jusqu'au moment où elles sont assez serrées les unes contre les autres pour être complètement immobilisées.

L'espace qui entoure immédiatement cet amas de microbes est à

peu près complètement dépourvu d'organismes; un peu au delà, on trouve, disséminés et immobiles, ceux qui étaient hors de la zone de diffusion de l'oxygène.

On peut dire que l'observateur assiste à la formation, autour de la bulle d'air, d'une véritable zooglœa, semblable à celle qui se produit, comme on le verra, à la surface des bouillons de culture exempts de nitrates, et exposés au contact de l'air extérieur.

Le *B. denitrificans* se multiplie par sissiparité dans les premiers jours de son développement, quel que soit le liquide de culture; plus tard, on voit apparaître de une à trois spores dans chaque bâtonnet; quelquefois, leur nombre atteint cinq ou six, dans des filaments plus longs, mais formés vraisemblablement de deux bactéries soudées l'une à l'autre et dont la ligne de séparation est difficile à saisir. Cette observation ne se fait bien que dans une préparation colorée, car dans l'état normal, la réfringence de la spore diffère à peine de celle du bâtonnet lui-même.

La formation de spores est précédée d'une accumulation de matière protoplasmique, sous forme de corps allongés, qui occupent une longueur variable dans chaque bâtonnet, et qui se résolvent ultérieurement en corpuscules sphériques. Leur présence explique comment les germes de la bactérie conservent leur vitalité dans certains milieux pendant des années entières.

23. *Bacterium denitrificans* β. — Il diffère peu au microscope du *Bacterium denitrificans* α; il est seulement un peu plus réfringent et un peu plus large; sa largeur est de 0,5 à 0,7 μ. Il est assez difficile de les distinguer l'un de l'autre, autrement que par la rapidité de leur développement et par les produits de leur action sur les nitrates, quand on les cultive comparativement dans les mêmes milieux. Nous indiquerons chemin faisant ces différences.

24. *Coloration des microbes.* — On peut colorer les bactéries dénitrifiantes avec diverses matières colorantes; celles que nous avons spécialement essayées sont:

Le bleu de méthylène;
Le brun de phénylène (vésuvine);
Le violet de méthyle B;
Le violet de gentiane.

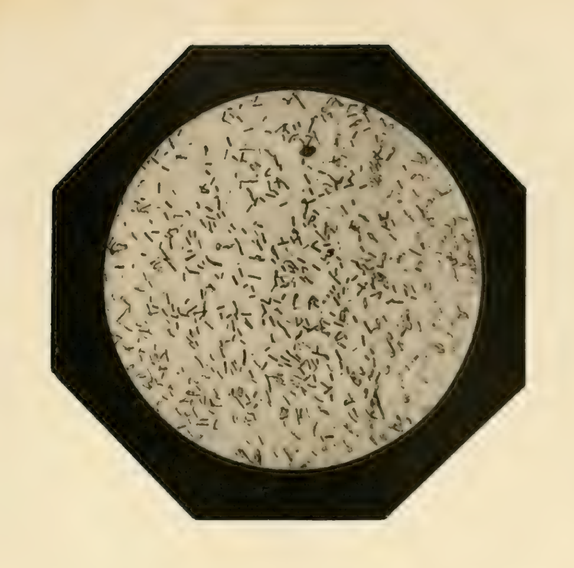


Fig. 1 – BACTERIUM DENITRIFICANS etc. G. = 

... Schuster



Fig. 2 – BACILLUS AMYLOBACTER G. = 

... Schuster

Le bleu de méthylène et le brun de phénylène sont absorbés lentement et ne donnent que des colorations peu intenses.

Les violets de méthyle et de gentiane donnent au contraire d'excellents résultats, mais le second est d'un emploi un peu plus avantageux que le premier.

Si la préparation colorée ne doit pas être conservée, il suffit de mélanger une goutte de liquide de culture avec une très petite quantité de solution de violet de gentiane à 0.5 p. 100. Cela convient très bien pour l'observation des spores.

Si, au contraire, la préparation est destinée à être conservée, on étale à l'aide d'un fil de platine une très petite goutte de liquide contenant les bactéries sur une lamelle couvre-objet ou mieux sur une lame porte-objet, préalablement débarrassées des plus infimes traces de matières grasses par un lavage à l'éther alcoolisé. Il convient de les chauffer légèrement vers 30° ou 35° avant d'y déposer le liquide de culture.

L'évaporation de la goutte étant terminée, on passe à plusieurs reprises la lame dans la flamme d'une lampe à alcool de façon à la porter à une température un peu supérieure à 60°. Après refroidissement, on met une ou deux gouttes de solution aqueuse de violet de gentiane à 1 p. 100, et on laisse en contact pendant 5 à 10 minutes. L'excès de matière colorante est ensuite entraîné par un lavage à l'eau distillée; la durée du lavage ne doit pas dépasser une minute avec une préparation en couche mince et régulière, si l'on tient à avoir une coloration intense.

25. La préparation ainsi obtenue peut être étudiée dans l'eau ou montée après dessiccation. Pour cette dernière opération, on peut faire usage de baume de Canada; mais cette substance, employée seule ou mélangée à un fluidifiant, a l'inconvénient de pâlir la teinte du microbe et de rendre celui-ci moins net. La glycérine le décolore en dissolvant le violet de gentiane; la solution d'acétate de potasse agit de même, quoiqu'à un degré moindre.

Nous préférons faire usage d'une solution concentrée de chlorure de calcium dans laquelle le violet de gentiane est *complètement insoluble*. Quand on emploie ce dernier liquide, il est très avantageux de fixer la préparation, contrairement à l'usage, sur la lame

porte-objet et non sur la lamelle[1]. Les microbes colorés selon ce procédé apparaissent très nets et fortement teintés quand on les examine avec un objectif 12 à immersion homogène de Vérick et avec tout le tirage de l'oculaire 3. Toutefois, les préparations dans le chlorure de calcium conservent un fond un peu plus coloré et plus chargé d'impuretés que celles qui sont montées dans le baume.

26. Indépendamment des préparations faites comme on vient de le dire, nous employons, pour la photographie, des préparations fixées sur la lame et recouvertes, sans aucun liquide intermédiaire soit d'un couvre-objet, soit d'une seconde lame porte-objet, qu'on enlève au moment de l'usage. Ces préparations à sec ne sont pas très favorables à l'observation des détails intérieurs du microbe, à la recherche des spores par exemple, mais elles montrent des bactéries colorées en violet opaque presque noir et d'un relief remarquable, permettant d'obtenir de bonnes photographies.

27. *Influence des nitrates sur les* B. denitrificans. — Avant d'étudier le mode d'action de ces microbes sur les nitrates et les circonstances qui peuvent modifier leur pouvoir réducteur, il convient d'insister sur l'influence du nitrate lui-même sur leur développement.

Ensemencé dans un vase à fond plat, contenant en grande surface, sous une faible épaisseur, du bouillon ou du liquide artificiel exempt de nitrates, le *B. denitrificans* se multiplie dans toute la masse, parce qu'il reçoit largement le contact de l'air extérieur. Mais dans un vase étroit, tel que le tube de la figure 1, par exemple, il ne se développe que dans les couches supérieures du liquide, là seulement où l'oxygène peut se diffuser.

Dans ce cas, il forme à la surface, en moins de vingt-quatre heures, une couche membraneuse, zoogléique, bientôt glaireuse, dont l'épaisseur va en augmentant et dont les bords se redressent sur les parois de l'appareil à une hauteur de plusieurs millimètres. La formation de cette membrane s'explique par la tendance qu'a le microbe à se grouper sous l'influence de l'air, sans d'ailleurs changer

1. C'est au contraire sur la lamelle couvre-objet qu'il faut étaler le liquide de culture, si l'on emploie le baume de Canada.

de forme et sans perdre la faculté de se mouvoir, lorsqu'il se retrouve libre, dans un liquide oxygéné. Nous avons eu la preuve de cette tendance dans l'observation microscopique.

Si l'on fait l'ensemencement dans un milieu tout à fait privé d'air, le microbe donne avec le bouillon une très légère opalescence et laisse au liquide artificiel toute sa limpidité primitive.

28. Le *B. denitrificans* se présente donc comme l'un des êtres les plus avides d'oxygène ; et, non seulement il prend ce gaz à l'air libre, mais il peut aussi l'emprunter à un milieu nitraté, de telle sorte qu'il est, suivant le cas, et avec la même facilité, aérobie ou anaérobie. Aussi, quand on le sème dans des cultures riches en nitrates, se répand-il uniformément dans toute la masse, quelle que soit la forme du vase et l'épaisseur du liquide ; celui-ci se trouble rapidement, se recouvre d'une mousse épaisse et devient le siège d'une fermentation énergique. Lorsque le gaz a cessé de se dégager, le liquide, qui est devenu visqueux et filant, s'éclaircit peu à peu, et le microbe se ramasse au fond du vase en couche glaireuse ; quelquefois, après la fermentation, si le contact de l'air devient possible, il se fait à la surface une membrane zoogléique, analogue à celle que donnent les milieux non nitratés.

La viscosité ne se produit pas pendant que la fermentation est en pleine activité ; elle n'apparaît qu'à la fin, alors que le liquide peut être assimilé à un milieu exempt de nitrates. Or, de tels milieux sont précisément, comme on l'a vu, très favorables à la production de matières glaireuses.

29. *Circonstances qui influent sur la dénitrification.* — La quantité de nitrate décomposé dans un temps donné dépend évidemment de l'activité du ferment et, par conséquent, pour un même microbe, de la nature du milieu, de la température, de l'âge de la semence, etc., toutes circonstances qui influent sur sa vitalité.

30. 1° *Influence de la nature du microbe.* — Comparons d'abord nos deux *B. denitrificans*.

Le 9 janvier, à 4 heures du soir, on ensemence deux tubes à culture profonde (fig. 1), contenant le même bouillon nitraté, l'un *a* avec le *B. denitrificans* $\alpha$ et l'autre *b* avec le *B. denitrificans* $\beta$.

Le lendemain 10, à 8 heures du matin, *a* est trouble avec une

mousse fine ; *b* est plus trouble, mais sans mousse ; à 4 heures du soir, la mousse apparaît dans *b ;* elle a une épaisseur de 1 centimètre environ dans *a*.

Le 11, à 4 heures du soir, mousse très abondante dans *b ;* mousse tombante et fermentation achevée dans *a*.

La marche de la dénitrification a été :

| | Le 10. | Le 11. |
|---|---|---|
| Avec le *B. denitrificans* α. . . . . . . . . | 52 p. 100 | 100 p. 100 |
| — — β. . . . . . . . . | 50 — | 77 — |

Les deux microbes donnent des nitrites pendant la fermentation.

Ainsi, avec le bouillon de bœuf, il y a une différence dans le trouble du liquide, dans l'apparition de la mousse et dans l'intensité de la réduction. Le microbe α s'est toujours montré plus actif que le microbe β. Quant aux produits de la réaction, on verra plus loin qu'ils ne diffèrent pas sensiblement.

Avec le liquide artificiel, dont on trouvera la composition à la page 255, les différences s'accentuent.

Le 10 janvier, à 4 heures du soir, deux tubes contenant du liquide artificiel sont ensemencés, *a* avec le *B. denitrificans* α et *b* avec le *B. denitrificans* β.

Le lendemain, à 11 heures du matin, *a* est très trouble, avec une mousse de plusieurs centimètres d'épaisseur ; *b* est trouble, mais sans mousse.

Le 12, la mousse est abondante dans *b,* tombante en *a,* où la fermentation est achevée.

La dénitrification a été :

| | Le 11. | Le 12. |
|---|---|---|
| Avec le *B. denitrificans* α. . . . . . . . . | 77 p. 100 | 100 p. 100 |
| — — β. . . . . . . . . | 50 — | 77 — |

Ces deux ferments ne diffèrent pas seulement par leur activité ; le premier, qui donnait des nitrites avec le bouillon de viande, n'en fait pas dans le liquide artificiel ; le second, au contraire, en donne dans les deux cas. De plus, α dégage du protoxyde d'azote quand β ne dégage que de l'azote (voir p. 276 et suiv.).

En raison de sa grande puissance réductrice, le *B. denitrificans* α a été choisi pour les expériences ultérieures, sauf indication contraire.

31. 2° *Influence de la température.* — Le 10 septembre, on distribue dans des vases de culture du bouillon additionné de nitrate de potasse ; après ensemencement, on met :

| | | |
|---|---|---|
| *a,* | à la température de | 25° |
| *b,* | — | 30° |
| *c,* | — | 35° |
| *d,* | — | 40° |

Le 11, tous les liquides sont troubles et donnent de la mousse.

Le 12, la fermentation est achevée dans *c* et *d* ; elle continue dans *a* et *b*. Le dosage du salpètre restant permet de calculer par différence la mesure de la dénitrification; on trouve :

| | | |
|---|---|---|
| Dans *a*. . . . . . . . . . . | 77 | p. 100 |
| — *b*. . . . . . . . . . . | 95 | — |
| — *c*. . . . . . . . . . . | 100 | — |
| — *d*. . . . . . . . . . . | 100 | — |

Une température voisine de 35° est donc très favorable à la réduction du nitrate ; c'est celle que nous avons généralement adoptée. Nous verrons, à la fin du chapitre suivant, que la température influe sur la composition du gaz dégagé et qu'elle favorise la formation du protoxyde d'azote dans le liquide artificiel.

32. 3° *Influence du chauffage de la semence.* — Le 27 octobre, on remplit une série de petites ampoules effilées aux deux bouts avec un liquide en fermentation, on les scelle à la lampe et on les plonge dans un bain-marie, dont on élève progressivement la température. Ces ampoules, chauffées à des degrés divers, servent ensuite, après refroidissement, à ensemencer des tubes de bouillon nitraté.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Un tube *a* | reçoit | la semence | chauffée à | 40° |
| — *b* | — | | — | 60 |
| — *c* | — | | — | 80 |
| — *d* | — | | — | 100 |

Le 28, *a* est trouble et donne de la mousse ; *b* est opalin, sans mousse ; *c* et *d* sont limpides.

Le 29, *b* se trouble et mousse à son tour.

Le 4 novembre, *c* et *d* sont restés limpides.

33. Le même jour, expérience toute semblable, mais en resserrant les températures entre 50 et 100 degrés.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Un tube | *a* | reçoit la semence | chauffée à | 50° |
| — | *b* | — | — | 60 |
| — | *c* | — | — | 70 |
| — | *d* | — | — | 80 |
| — | *e* | — | — | 90 |
| — | *f* | — | — | 100 |

Le 28, *a* et *b* sont troubles, les autres tubes sont limpides.

Le 29, dénitrification très avancée dans *a ;* fermentation et mousse dans *b ;* ni trouble, ni mousse dans les autres tubes.

Le 4 novembre, *c, d, e* et *f* sont restés limpides.

Le microbe dénitrifiant est donc tué à la température de 70 degrés, mais il souffre déjà de l'action d'une température de 60 et même de 50 degrés.

34. 4° *Influence de l'air.* — La décomposition des nitrates doit diminuer au contact de l'air, parce que, dans ces conditions, le microbe est largement pourvu de l'oxygène dont il a besoin pour son développement, et qu'il lui est plus facile de le prendre là qu'à une combinaison chimique. Les expériences suivantes justifient cette hypothèse.

I. — Le 6 août, un flacon de 300 centimètres cubes est rempli jusqu'au goulot d'eau d'égout nitratée ; un volume égal de liquide est versé dans un flacon de 600 centimètres cubes de capacité. Même semence dans les deux liquides.

Après un séjour de 24 heures à l'étuve, le premier a perdu 42 p. 100 et le second 11 p. 100 seulement du nitrate employé.

II. — Le 12 février, on met un même volume de bouillon de bœuf additionné de salpêtre dans une fiole de culture à fond plat A (fig. 6), où il occupe une épaisseur de 2 à 3 millimètres seulement, et dans un tube de culture A′, sous une épaisseur de 12 centimètres environ.

Les deux vases reçoivent chacun une goutte de la même semence. Le 14, la réduction a été :

| | |
|---|---|
| Dans *a* . . . . . . . . . . . . . . . | de 14 p. 100 |
| — *a'* . . . . . . . . . . . . . . . | de 47 — |

Malgré la faible épaisseur du bouillon dans la fiole A, on voit qu'il y a eu, néanmoins, une dénitrification partielle. Les choses se passent

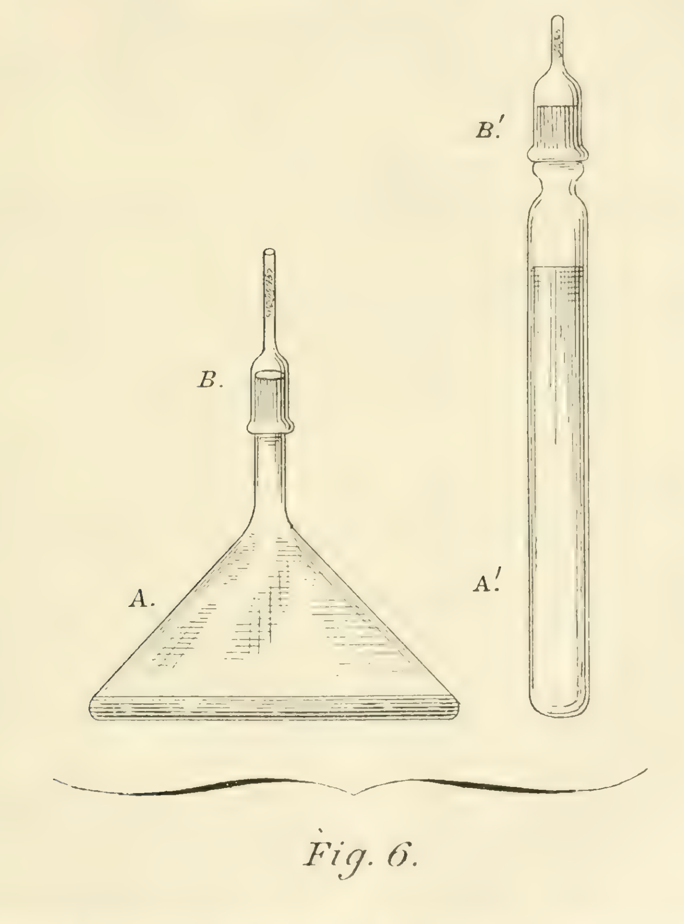



*Fig. 6.*

sans doute comme dans l'action de la levûre de bière sur du moût en grande surface. On ne peut, dans les deux cas, supprimer complètement la fermentation, parce que l'aération de tous les points du li-

quide est impossible. Les organismes tout voisins de la couche superficielle, protègent en effet les autres contre le contact de l'air, et ceux-ci fonctionnent alors comme dans une culture en profondeur.

35. Plus le milieu sera nutritif, plus les organismes se développeront et plus il sera difficile d'avoir une réduction nulle dans un liquide en couche mince. Mais si le milieu est pauvre en aliments, comme l'eau d'égout, les microbes seront peu abondants, l'air pourra se dissoudre dans toute la masse et le nitrate ne sera pas décomposé. L'expérience suivante réalise ces conditions.

III. — Le 6 août, on fait trois parts égales d'eau d'égout nitratée, qu'on distribue dans trois vases de capacités différentes :

*a*. . . . . . . Flacon complètement rempli.
*b*. . . . . . . Flacon à moitié rempli.
*c*. . . . . . . Fiole à camphre où le liquide occupe $2^{mm}$ environ d'épaisseur.

Même semence dans les trois appareils.

Le 26, la proportion de nitrate réduit a été :

| | |
|---|---|
| Dans *a*. . . . . . . . . . . . . . | de 33 p. 100 |
| — *b*. . . . . . . . . . . . . . | de 14 — |
| — *c*. . . . . . . . . . . . . . | de 0 — |

Il résulte de là que, pour obtenir des fermentations rapides, il faudra faire usage de vases profonds et complètement remplis de liquide.

36. 5° *Influence de l'âge de la semence.* — Si l'on prend pour semence, dans des cultures nouvelles, le *B. denitrificans* aux différentes périodes de son développement, on constate que ce microbe s'affaiblit progressivement jusqu'à la perte complète de son activité, jusqu'à la mort.

Le 17 novembre, après avoir éprouvé à l'étuve un certain nombre de tubes de culture, contenant du bouillon additionné de 10 grammes de nitrate de potasse par litre, on ensemence l'un d'eux avec un microbe très jeune. Le lendemain, les jours suivants, puis à des intervalles plus éloignés, on ensemence successivement les autres tubes, avec des prises faites dans celui-là. La proportion de nitrate réduit a été mesurée pour chaque tube après 24 et après 48 heures.

Le tableau suivant résume cette expérience :

| NUMÉRO d'ordre de la culture. | DATE de l'ensemencement. | AGE de la semence. | PROPORTIONS DE NITRATE RÉDUIT | |
|---|---|---|---|---|
| | | | après 24 heures. | après 48 heures. |
| 0 | 17 nov. | » | » | » |
| 1 | 18 — | 1 jour | 68 p. 100 | 84 p. 100 |
| 2 | 19 — | 2 — | 66 — | 84 — |
| 3 | 20 — | 3 — | 48 — | 76 — |
| 4 | 21 — | 4 — | 48 — | 60 — |
| 5 | 22 — | 5 — | 42 — | 72 — |
| 6 | 27 — | 10 — | 28 — | 64 — |
| 7 | 2 déc. | 15 — | 18 — | 54 — |
| 8 | 7 — | 20 — | 12 — | 40 — |
| 9 | 17 — | 30 — | 16 — | 20 — |
| 10 | 27 — | 40 — | 0 — | 0 — |

Malgré quelques irrégularités qui pourraient s'expliquer par les différences de volumes de semence employée, on voit que le sens du phénomène est très net et que la vitalité du ferment diminue assez rapidement lorsqu'il est laissé en contact avec son liquide. C'est un fait fréquent chez les infiniment petits.

37. La nature du liquide de culture influe, d'ailleurs, sur la vitesse d'affaiblissement du microbe.

A la fin de juin 1883, on sème du ferment pur dans les liquides suivants :

*a.* — Liquide artificiel de la page 255 contenant 1 p. 100 de nitrate de potasse.
*b.* — Bouillon de bœuf contenant 1 p. 100 de nitrate de potasse.
c. — Bouillon de bœuf contenant 1 p. 100 de nitrate de potasse et 5 p. 100 de sucre.
*d.* — Bouillon de bœuf contenant 1 p. 100 de nitrate de potasse et 2 p. 100 d'amidon.
*e.* — Eau de levûre, sans nitrate.
*f.* — Bouillon de bœuf, sans nitrate, contenant 2 p. 100 d'amidon.

Ces cultures sont abandonnées à la température ordinaire jusqu'en janvier 1884. A cette date, les liquides sont opalins ; au fond des tubes, on trouve un dépôt grisâtre, constitué par un amas de microbes, de cristaux de phosphate ammoniaco-magnésien et de granulations amorphes.

Le 6 janvier, avec des prises faites dans ces divers liquides, les unes à la surface, les autres dans le dépôt, on ensemence largement du bouillon de bœuf neutre, contenant 1 p. 100 de salpêtre.

Le 7, les cultures issues de *c, d, e* et *f* donnent une mousse abondante, tandis que celles issues de *a* et de *b* ne sont même pas troubles.

Le 8, le tube ensemencé avec le dépôt de *b* est devenu trouble à son tour, et mousse légèrement ; celui qui a reçu une goutte de la surface est limpide.

Le 9, mêmes tubes qu'hier en fermentation ; dans plusieurs, la dénitrification est achevée.

Le 10 et jours suivants, les tubes déjà stériles n'ont donné ni trouble, ni réduction, ni microbes.

La semence provenant du liquide artificiel *a* était donc morte ; celle provenant du bouillon de bœuf nitraté *b* ne s'est rajeunie qu'avec peine ; à la surface même, elle était morte. Quant aux autres semences, celles qui avaient été prises dans les bouillons nitratés *c* et *d*, additionnés de sucre ou d'amidon, elles se sont rajeunies moins vite que celles qui avaient été extraites des liquides non nitratés *e* et *f* ; en effet, le 9, la réduction était complète dans ces dernières cultures, tandis qu'elle n'était que de 56 p. 100 dans les tubes ensemencés avec *c* et de 68 p. 100 dans les tubes ensemencés avec *d*.

L'ordre dans lequel nous avons placé les liquides de culture est précisément celui qui indique leur valeur nutritive relative pour le *B. denitrificans*. Celui-ci, comme beaucoup d'autres organismes, s'épuise donc, dans un milieu, d'autant plus vite qu'il s'y est montré plus actif.

38. L'eau de levûre non nitratée est, de tous les liquides que nous avons essayés, celui qui conserve le plus longtemps la semence de notre microbe. Grâce à cette propriété, nous avons pu le retrouver vivant au mois de décembre 1884, c'est-à-dire un an et demi après son ensemencement. Ce fut une résurrection des plus heureuses, car, à la suite d'une élévation accidentelle de la température dans notre étuve, le ferment qui servait à nos expériences fut tué, et nous l'eussions perdu sans retour, si le tube d'eau de levûre conservé dans notre collection ne nous avait permis de le rajeunir. Aujourd'hui encore, 25 août 1885, on retrouve des spores vivantes dans le tube ensemencé à la fin de juin 1883 et dans le tube ensemencé en janvier 1884.

39. 6° *Influence de la proportion de nitrate.* — I. Le 21 juillet, on ensemence des flacons exactement remplis d'eau d'égout, contenant des doses croissantes de nitrate de potasse :

| | |
|---|---|
| *a*. . . . . . . . . . . . . | 0gr,25 par litre. |
| *b*. . . . . . . . . . . . . | 0 ,50 — |
| *c*. . . . . . . . . . . . . | 1 ,00 — |
| *d*. . . . . . . . . . . . . | 2 ,50 — |
| *e*. . . . . . . . . . . . . | 5 ,00 — |

Les liquides se sont tous troublés et la réduction a suivi la marche suivante :

| | Au 23 juillet. | Au 25 juillet. | Au 28 juillet. | Au 1er août. | Au 7 août. |
|---|---|---|---|---|---|
| | — | — | — | — | — |
| Dans *a*. . . | 58 p. 100 | 92 p. 100 | 100 p. 100 | » | » |
| — *b*. . . | 12 — | 60 — | 100 — | » | » |
| — *c*. . . | 24 — | 44 — | 96 — | 99 p. 100. | 100 p. 100. |
| — *d*. . . | » | 20 — | 63 — | 90 — | 100 — |
| — *e*. . . | » | » | 14 — | 49 — | 100 — |

On déduit de là :

| | DURÉE de la réduction. | NITRATE décomposé par jour en moyenne. |
|---|---|---|
| | — | — |
| Dans *a*. . . . . . . . . . | 7 jours. | 0gr,036 par litre. |
| — *b*. . . . . . . . . . | 7 — | 0 ,071 — |
| — *c*. . . . . . . . . . | 11 — | 0 ,090 — |
| — *d*. . . . . . . . . . | 17 — | 0 ,147 — |
| — *e*. . . . . . . . . . | 17 — | 0 ,294 — |

II. — Avec un liquide plus nutritif que l'eau d'égout, du bouillon de viande, par exemple, la destruction du nitrate est beaucoup plus rapide.

Le 5 septembre, on ensemence du bouillon renfermant :

| | |
|---|---|
| *a*. . . . . . . . . | 1 gramme de nitrate de potasse par litre. |
| *b*. . . . . . . . . | 2 — — |
| *c*. . . . . . . . . | 4 — — |

La marche de la dénitrification a été de jour en jour :

| | 6 sept. | 7 sept. | 8 sept. | 9 sept. |
|---|---|---|---|---|
| | — | — | — | — |
| Dans *a* . . . . . | 86 p. 100 | 100 p. 100 | » | » |
| — *b* . . . . . | 71 — | 100 — | » | » |
| — *c* . . . . . | 30 — | 65 — | 91 p. 100 | 100 p. 100 |

On a donc obtenu :

| | DURÉE maximum de la réduction. | NITRATE détruit par jour en moyenne. |
|---|---|---|
| | — | — |
| Dans *a*. . . . . . . | 2 jours. | $0^{gr},5$ par litre. |
| — *b*. . . . . . . | 2 — | 1 ,0 — |
| — *c*. . . . . . . | 4 — | 1 ,0 — |

III. — La dénitrification peut se produire aussi avec des doses plus élevées de sel.

Le 8 septembre, on dispose un autre essai dans du bouillon tenant en dissolution :

| | | | |
|---|---|---|---|
| *a* . . . . . . . | 4 grammes de nitrate de potasse par litre. | | |
| *b* . . . . . . . | 8 | — | — |
| *c* . . . . . . . | 12 | — | — |
| *d* . . . . . . . | 16 | — | — |
| *e* . . . . . . . | 20 | — | — |

La semence est prise dans un flacon en pleine fermentation.

Les dosages successifs ont donné pour la dénitrification :

| | 9 sept. | 11 sept. | 13 sept. | 15 sept. | 22 sept. |
|---|---|---|---|---|---|
| | — | — | — | — | — |
| Dans *a*. . | 25 p. 100 | 75 p. 100 | 100 p. 100 | » | » |
| — *b*. . | 26 — | 68 — | 84 — | 89 p. 100 | » |
| — *c*. . | 15 — | 47 — | 40 — | 52 — | 59 p. 100. |
| — *d*. . | » | 25 — | 27 — | 27 — | 34 — |
| — *e*. . | » | 4 — | 13 — | 28 — | » |

Si l'on calcule les doses de nitrate détruit au 13 septembre, c'est-à-dire 5 jours après l'ensemencement, on obtient :

| | TOTAL. | MOYENNE par jour. |
|---|---|---|
| | — | — |
| Dans *a* . . . . . . . . | $4^{gr},00$ | $0^{gr},80$ par litre. |
| — *b* . . . . . . . . | 6 ,72 | 1 ,34 — |
| — *c* . . . . . . . . | 4 ,80 | 0 ,96 — |
| — *d* . . . . . . . . | 4 ,32 | 0 ,86 — |
| — *e* . . . . . . . . | 2 ,60 | 0 ,52 — |

40. L'activité du microbe dépend donc de la richesse du milieu et de la proportion de nitrate dissous. Dans les bouillons de viande, elle paraît maximum pour les doses de salpêtre voisines de 1 p. 100;

mais la bactérie peut vivre et agir avec 2 p. 100 de sel. Dans ce dernier cas, la fermentation se ralentit au bout de peu de jours et ne se termine pas, soit parce que le liquide est devenu fortement alcalin et gène le développement du ferment, soit parce que la matière organique n'y est plus en quantité suffisante (voir page 273).

La proportion que nous adoptons généralement est celle de 10 grammes par litre.

La quantité de sel décomposé par litre et par jour a dépassé 1 gramme dans l'expérience précédente. Dans certains cas, nous avons eu 3 grammes dans du bouillon de poulet, 6 grammes et même 9 grammes dans du liquide artificiel.

41. 7° *Influence de la base du nitrate.* — Les azotates alcalins et l'azotate de chaux sont tous décomposables par le *B. denitrificans*.

I. — Le 6 août, on ensemence de l'eau d'égout renfermant des poids égaux, 1gr,67 par litre, de ces divers sels ; la fermentation s'est régulièrement établie, donnant la mousse et le trouble habituels.

La dénitrification a été :

| | 8 août. | 9 août. |
|---|---|---|
| Avec le nitrate de potasse . . . . . . | de 42 p. 100 | 47 p. 100 |
| — de soude. . . . . . . | 24 — | 40 — |
| — d'ammoniaque. . . . . | 25 — | 40 — |
| — de chaux. . . . . . . | 37 — | 58 — |

II. — A doses plus élevées, le sel de chaux empèche la vie du microbe et ne se décompose pas, même dans un milieu plus riche en matières nutritives.

Le 10 juillet, on ensemence des tubes de bouillon de bœuf contenant des poids équivalents (le dixième de l'équivalent par litre) de nitrates alcalins et de nitrate de chaux. On a obtenu les réductions suivantes :

| | 11 juillet. | 12 juillet. |
|---|---|---|
| Avec le nitrate de potasse . . . . . . | 21 p. 100 | 51 p. 100 |
| — de soude . . . . . . . | 20 — | 27 — |
| — d'ammoniaque. . . . . | 22 — | 38 — |
| — de chaux . . . . . . . | 0 — | 0 — |

Le sel de potasse s'est montré plus favorable que les autres ; mais dans d'autres expériences, où le bouillon avait une autre compo-

sition, où la semence n'avait pas été prise au même âge, l'ordre a été un peu différent ; c'est ce qui est arrivé dans l'exemple suivant.

III. — Le 12 février, on ensemence des tubes de bouillon de bœuf contenant respectivement des poids de sel équivalents à 10 grammes de nitrate de potasse.

La réduction a été :

| | 13 février. | 14 février. | 15 février. |
|---|---|---|---|
| | — | — | — |
| Avec le nitrate de potasse. . . | de 38 p. 100 | 65 p. 100 | 79 p. 100 |
| — de soude . . . | 47 — | 80 — | 96 — |
| — d'ammoniaque . | 32 — | 68 — | 73 — |

On peut, dès lors, admettre que les trois nitrates alcalins se réduisent, suivant les cas, avec la même facilité.

42. 8° *Influence de la constitution des liquides de culture.* — Les expériences que nous avons rapportées ont déjà montré que le *B. denitrificans* vit mieux et détruit plus de nitrate, toutes choses égales d'ailleurs, dans les bouillons de viande que dans l'eau d'égout. La nécessité d'un milieu riche en matières nutritives ne s'explique pas seulement par les besoins du microbe ; nous verrons, dans lè chapitre suivant, que la réduction du sel ne peut s'accomplir que si l'oxygène nitrique trouve à brûler du carbone organique.

Mais quelles sont les matières organiques qui peuvent convenir ? En faire une liste complète serait impossible et inutile. Nous dirons seulement que, parmi celles que nous avons essayées, indépendamment du bouillon de poule, de veau ou de bœuf, l'huile d'olives, l'huile d'amandes douces, la glycérine, le sucre, le glucose, l'amidon, les alcools de la série grasse, le glycol, le glycocolle, l'asparagine, l'aniline, les acides tartrique, citrique, benzoïque, salicylique, phénique en milieux neutres, sont plus ou moins propres à la culture du microbe dénitrifiant ; que le chloroforme et les oxalates empêchent son développement.

Il est remarquable que l'acide phénique, l'acide salicylique, l'aniline, qui sont d'excellents antiseptiques pour certains microbes, n'empêchent pas le développement du *B. denitrificans*, même à des doses supérieures aux doses habituelles. M. Müntz a bien voulu nous citer des faits qui concordent avec nos observations, du moins pour

l'acide phénique; il a vu certains organismes le détruire à dose de plusieurs grammes par litre.

Dans les cultures où l'on ajoute de l'aniline, on perçoit nettement l'odeur de nitrobenzine. Cette réaction intéressante, l'inverse de celle que l'on produit d'ordinaire dans les laboratoires ou dans l'industrie, s'explique par la mise en liberté, à l'état naissant, de l'oxygène nitrique[1], puisqu'on a :

$$C^{12}H^{7}Az + 3O^{2} = C^{12}H^{5}(AzO^{4}) + H^{2}O^{2}.$$

43. On peut remplacer les liquides complexes, comme le bouillon de viande, par des liquides artificiels de composition connue. La constitution d'un pareil milieu exige de longs tâtonnements, dans le détail desquels il nous paraît inutile d'entrer.

En nous inspirant des travaux de même ordre dus à M. Pasteur et à M. Raulin, nous sommes arrivés, par degrés, à composer le liquide suivant, qui nous donne des fermentations au moins aussi rapides que les bouillons les plus riches.

| | |
|---|---|
| Nitrate de potasse. . . . . . . . . . . . . . | 10gr,00 |
| Acide citrique . . . . . . . . . . . . . . . | 7 ,00 |
| Asparagine. . . . . . . . . . . . . . . . . | 5 ,00 |
| Phosphate de potasse. . . . . . . . . . . . | 5 ,00 |
| Sulfate de magnésie . . . . . . . . . . . . | 5 ,00 |
| Chlorure de calcium cristallisé. . . . . . . | 0 ,50 |
| Sulfate de protoxyde de fer . . . . . . . . . | 0 ,05 |
| Sulfate d'alumine . . . . . . . . . . . . . | 0 ,02 |
| Silicate de soude . . . . . . . . . . . . . | 0 ,02 |
| Eau . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1000 ,00 |
| Ammoniaque . . . . . . . . . . . . . . . . | q. s. pour neutraliser. |

Toutes ces substances, exactement pesées, sont mises dans un ballon avec de l'eau distillée; on fait dissoudre à chaud, puis quand la solution est refroidie, on la sature avec l'ammoniaque et on com-

1. On doit sans doute expliquer par l'action de microbes dénitrifiants et non par des microzymas, comme l'a proposé M. J. Béchamp, le fait observé par M. Méhay, d'oxydation à froid de l'acide acétique dans les liquides neutres ou faiblement alcalins en présence des azotates et des phosphates alcalins. (*Journal de pharmacie et de chimie*, 4e série, t. XXIII, p. 184; et t. XXIV, p. 288. 1876.)

plète le volume à un litre. On distribue ensuite le liquide dans des fioles, pour la stérilisation.

44. Nous verrons, plus loin, l'influence de l'asparagine sur la nature des gaz dégagés. Pour le moment, il suffit de dire que le liquide artificiel ainsi constitué est comparable, comme milieu nutritif, au meilleur bouillon de viande contenant la même dose de salpêtre.

Dans le bouillon, le *B. denitrificans* donne rapidement du trouble et commence à dégager des bulles de gaz 15 à 18 heures après l'ensemencement. Dans le liquide artificiel, le trouble et les bulles gazeuses apparaissent un peu plus tard ; mais, quand la fermentation est bien établie, l'intensité du trouble devient supérieure à celle du bouillon ; elle est si considérable que la liqueur est opaque sous une faible épaisseur. En même temps, le microbe se multiplie avec une abondance telle qu'il est rare de voir, au microscope, plus d'organismes réunis que dans une goutte de ce liquide artificiel.

L'activité de la réduction est, d'ailleurs, à peu près la même dans les deux milieux. En effet, dans un essai comparatif, la proportion de nitrate détruit en vingt-quatre heures a été de 50 p. 100 dans le bouillon et de 48 p. 100 dans le liquide artificiel.

---

## CHAPITRE II

### Produits de la réaction.

45. Nous avons vu que la transformation des nitrates en nitrites se fait en général sans dégagement de gaz ; au contraire, la réduction plus complète de l'acide nitrique par le *Bacterium denitrificans*, engendre de l'azote ou du protoxyde d'azote, produit une mousse abondante et une effervescence très vive comme dans une véritable fermentation.

#### I. — *Production d'azote.*

46. Nous examinerons d'abord le cas où l'azote se dégage en liberté, sans être combiné avec de l'oxygène ; c'est d'ailleurs le plus fréquent.

Dans un milieu riche en matières organiques, ce gaz est mélangé avec une certaine quantité d'acide carbonique ; mais si les conditions sont telles que le liquide ne puisse être saturé par ce dernier à la température de l'expérience, le gaz dégagé est de l'azote pur. Il suffit pour cela que le milieu soit peu nutritif, car alors la proportion de nitrate décomposé est faible. En voici un exemple :

Le 8 août, on dissout 21 grammes de salpètre dans 10$^{lit}$,800 d'eau d'égout stérilisée, et l'on porte le flacon ensemencé dans une étuve à température constante.

Le 9, le liquide s'est troublé dans toute la masse.

Le 12, le dégagement gazeux commence et se continue les jours suivants ; très faible pendant le mois de septembre, il a cessé complètement le 11 octobre.

Les volumes de gaz successivement recueillis ont été :

| | |
|---|---|
| Le 14 août. . . . . . . . . . . . . . . . | 17$^{cc}$,5 |
| Le 23 août. . . . . . . . . . . . . . . . | 92 ,5 |
| Le 25 août. . . . . . . . . . . . . . . . | 101 ,5 |
| Le 3 septembre. . . . . . . . . . . . . . | 80 ,0 |
| Le 11 octobre. . . . . . . . . . . . . . | 29 ,0 |
| TOTAL. . . . . | 320$^{cc}$,5 |

Ce gaz a toujours été formé d'azote pur, sans acide carbonique.

Comme l'eau d'égout renferme peu de matières organiques, la fermentation s'est arrêtée, bien qu'il restât encore dans le liquide une très grande quantité de sel non décomposé. Il n'y a eu en effet que 3 grammes environ de nitrate réduit, correspondant à 800 centimètres cubes environ d'acide carbonique engendré. On voit que ce volume est tout à fait insuffisant pour saturer près de 11 litres de liquide, en supposant même, ce qui n'arrive pas, que le gaz soit entièrement libre et qu'aucune partie ne se combine avec la potasse du nitrate.

47. Voici, au contraire, des exemples de fermentation plus active, où de l'acide carbonique s'est dégagé avec l'azote.

I. Le 30 septembre, on met à l'étuve un flacon de un litre renfermant de la semence active et du bouillon de poulet additionné de nitrate de potasse.

La fermentation s'est établie rapidement et s'est prolongée jusqu'au 11 octobre, en donnant les gaz suivants :

| | 1er octobre. | 2 octobre. | 4 octobre. | 11 octobre. |
|---|---|---|---|---|
| Volume total dégagé. . | 102cc | 100cc | 115cc | 42cc |
| Composition centésimale : | | | | |
| Azote . . . . . . . . | 75.9 | 87.5 | 97.7 | 100.0 |
| Acide carbonique. . . | 24.1 | 12.5 | 2.3 | 0.0 |
| | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

II. Le 27 février, on met en marche un ballon contenant du bouillon de bœuf, additionné de 10 grammes d'azotate de potasse par litre.

La fermentation a dégagé successivement :

| | 28 février. | 5 mars. | 9 mars. |
|---|---|---|---|
| Volume total du gaz. . . . | 76cc | 136cc | 21cc |
| Composition centésimale : | | | |
| Azote. . . . . . . . . . . | 92.2 | 93.8 | 98.6 |
| Acide carbonique. . . . . | 7.8 | 6.2 | 1.4 |
| | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

48. La proportion d'acide carbonique diminue toujours à la fin de la fermentation. Cela s'explique sans doute par ce fait qu'avec le microbe employé, il se fait d'abord du nitrite et que les deux tiers de l'oxygène de l'acide azotique servent à faire de l'acide carbonique avant que l'azote puisse se dégager. En réalité, les deux phases de la réduction ne sont pas absolument distinctes et successives ; elles coïncident en grande partie, car le nitrite est lui-même décomposable par le *Bacterium denitrificans*.

Les exemples précédents montrent bien quelle est la nature des gaz formés pendant la désoxydation complète de l'acide des nitrates ; mais ils ne permettent pas de savoir ce que deviennent tout l'azote et tout l'oxygène provenant de cette réduction. Il reste, il est vrai, dans les liquides fermentés beaucoup d'acide carbonique combiné avec la base ; mais quel est le volume exact de l'acide carbonique produit ?

49. Pour établir l'équation exacte du phénomène, il faut mesurer et doser avec précision les gaz dégagés, recueillir et analyser tout le

liquide fermenté. On ne peut, sans causes d'erreur, faire servir à cet usage, les appareils, tels que flacons ou ballons munis de tubes abducteurs, d'où l'air ne serait pas chassé complètement.

Il faut, en outre, que liquides et récipients soient stérilisés, et que la semence puisse être introduite avec sa pureté primitive, afin d'éviter toute fermentation secondaire par des microbes étrangers.

50. Le dispositif le plus simple qui paraisse propre à éviter tout inconvénient est celui qui a servi à M. Pasteur pour l'étude de la fermentation alcoolique : il consiste en une éprouvette ou un ballon à long col remplis de mercure et renversés sur ce liquide. On y introduit un poids convenable du sel à décomposer, un volume connu de bouillon, et une trace de semence ; si la fermentation s'établit, le gaz produit déprime le mercure sans sortir de l'appareil, et les lectures se font avec facilité.

Malgré sa simplicité apparente, cet appareil est lourd, peu maniable et difficile à stériliser dans toute sa masse. Nous l'avons essayé néanmoins plusieurs fois, en stérilisant à la fois le mercure et le liquide nitraté, mais malheureusement sans succès. Nos microbes s'y sont à peine développés.

51. Nous avons alors imaginé la disposition ci-contre :

Une grosse boule A (fig. 7), de 150 centimètres cubes environ de

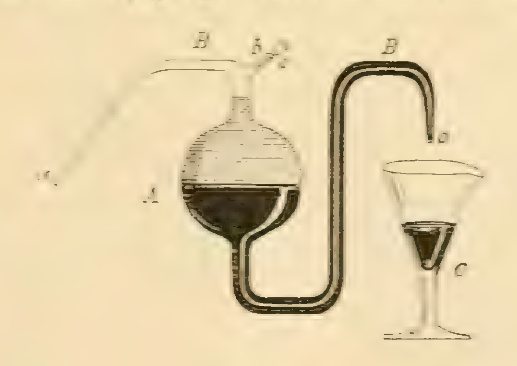



*Fig. 7.*

capacité, est soudée à deux tubes diamétralement opposés : le tube inférieur B est recourbé en S et son extrémité effilée *o* s'ouvre au-

dessus d'un verre à pied C ; le tube supérieur B', deux fois recourbé, est effilé à son extrémité *a*, et porte latéralement, au point le plus élevé, un petit tube *c* étranglé et muni d'une bourre de coton *b*.

Après avoir introduit du mercure en A jusque vers le milieu de la boule, on ferme les effilures *a* et *o* et l'on stérilise le tout dans l'air chaud. Pendant le refroidissement, l'air extérieur, en pénétrant dans la boule, se purifie sur le coton *b*.

Pour remplir cet appareil de bouillon nitraté, on flambe la pointe *a*, on la brise, on la flambe de nouveau, et on l'introduit dans le flacon contenant le liquide préalablement stérilisé ; on aspire alors par la tubulure *c*, et, quand la boule est pleine, on retire le tube *a* qu'on scelle à la lampe.

La prise de la semence se fait de la même manière. Dès qu'elle est introduite, on brise l'extrémité *o*, et l'on scelle à la lampe la tubulure *c*.

S'il y a dégagement de gaz, celui-ci s'accumule dans la partie supérieure de la boule A, et refoule à la fois le liquide et le mercure. Ce dernier sort alors par l'orifice *o* et s'écoule dans le verre ; son poids permet de calculer le volume du gaz produit, en tenant compte de la température et des divers éléments de la pression. On peut d'ailleurs recueillir le gaz lui-même dans une éprouvette graduée, en recourbant l'extrémité *a* en forme de tube abducteur, et en exerçant en *o* une pression convenable de mercure.

52. Le 25 janvier, un de ces appareils fut rempli, comme il vient d'être dit, avec du bouillon contenant 10 grammes de salpêtre par litre, et ensemencé avec le *Bacterium denitrificans* β.

Après un séjour de trois jours à la température de 35 degrés, le liquide est resté limpide, tandis que dans nos tubes habituels de culture, la fermentation s'était déclarée en moins de vingt-quatre heures, avec la même semence.

Le 28 janvier, l'expérience fut répétée avec une semence plus jeune et plus active ; même résultat. Tandis que dans un ballon sans mercure ensemencé le même jour, avec le même microbe, la fermentation s'est régulièrement établie, au contraire, le liquide en contact avec le mercure est resté limpide jusqu'au 23 février suivant, c'est-à-dire pendant près d'un mois. Le microbe soumis à

l'influence du mercure n'était cependant pas mort, car semé dans un tube de culture, il s'y est développé avec ses caractères ordinaires, seulement avec un peu plus de lenteur.

53. La présence du mercure a donc complètement empêché la multiplication et les fonctions du *B. denitrificans* β. Avec le *B. denitrificans* α, dont l'activité est beaucoup plus grande, l'action du mercure dans les appareils à boule est seulement diminuée ; la fermentation y commence plus tard, dure plus longtemps et donne moins de mousse que dans une fermentation comparative faite sans mercure.

Dans l'éprouvette renversée sur le mercure, le *B. denitrificans* α s'est développé plus péniblement encore que dans l'appareil précédent; le liquide s'est à peine troublé, et n'a point donné de gaz. Cette différence tient sans doute à ce que la stérilisation du bouillon et celle du mercure ont été simultanées, et que, dans ces conditions, il a dû se diffuser plus de vapeurs mercurielles au sein du liquide nitraté que dans l'appareil à boule, où ce liquide a été superposé au mercure, à froid, après une stérilisation indépendante.

54. Quant à la présence du mercure dans le bouillon, elle est facile à démontrer par les méthodes si sensibles et si précises imaginées par M. Merget. Le savant professeur de la Faculté de médecine de Bordeaux a bien voulu le rechercher lui-même dans les trois échantillons suivants :

*a* Bouillon stérilisé et non ensemencé, en contact avec du mercure également stérilisé ;

*b* Bouillon non stérilisé et non ensemencé, en contact avec du mercure stérilisé ;

*c* Bouillon stérilisé ayant fermenté en contact avec du mercure stérilisé, sous l'influence du *B. denitrificans* α.

« Les trois échantillons de bouillon de culture, dit M. Merget dans « la note qu'il nous a remise, ont été soumis au même mode d'ana- « lyse.

« Une première prise, faite sur chacun d'eux, a été traitée par « l'acide sulfhydrique et les sulfhydrates alcalins, sans donner la « plus minuscule trace de précipité de sulfure de mercure.

« Sur une seconde prise, on a fait agir un fil de cuivre bien pur et

« bien décapé, plongeant d'un centimètre environ, qui a été retiré « après vingt-quatre heures d'immersion, et introduit, après avoir « été lavé à grande eau et desséché, dans un pli de papier sensible à « l'azotate d'argent ammoniacal, dont il était séparé par quelques « doubles de papier de soie ; on n'a constaté aucune apparence « d'impression mercurielle.

« Une troisième prise, au contraire, traitée comme la précédente, « mais après avoir été préalablement additionnée d'acide nitrique « et portée pendant quelques instants à l'ébullition, a fourni des « impressions mercurielles très nettement accusées.

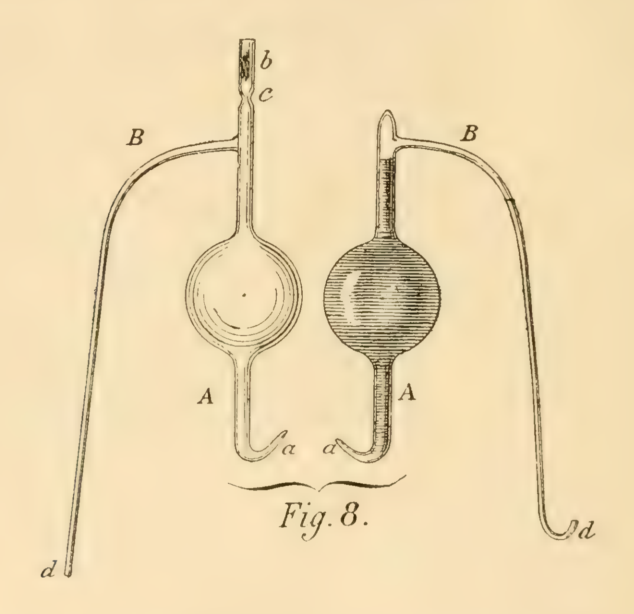


Fig. 8.

« Les résultats négatifs des deux premières séries d'essais per- « mettent de conclure que les trois échantillons de bouillon de « culture ne renfermaient pas de sels de mercure en dissolution. « Comme on y rencontre néanmoins ce métal, ainsi que le démon- « trent les résultats positifs de la troisième série d'essais, c'est qu'il « s'y trouvait diffusé en vapeur, c'est-à-dire au même état que dans « l'eau mercurielle.

« Cette conclusion est confirmée par l'expérience suivante : des « papiers sensibles disposés au-dessus de couches de bouillon, sté-

« rilisé ou non, recouvrant du mercure, sont nettement impres-
« sionnées par les vapeurs mercurielles qui traversent les liquides
« superposés. »

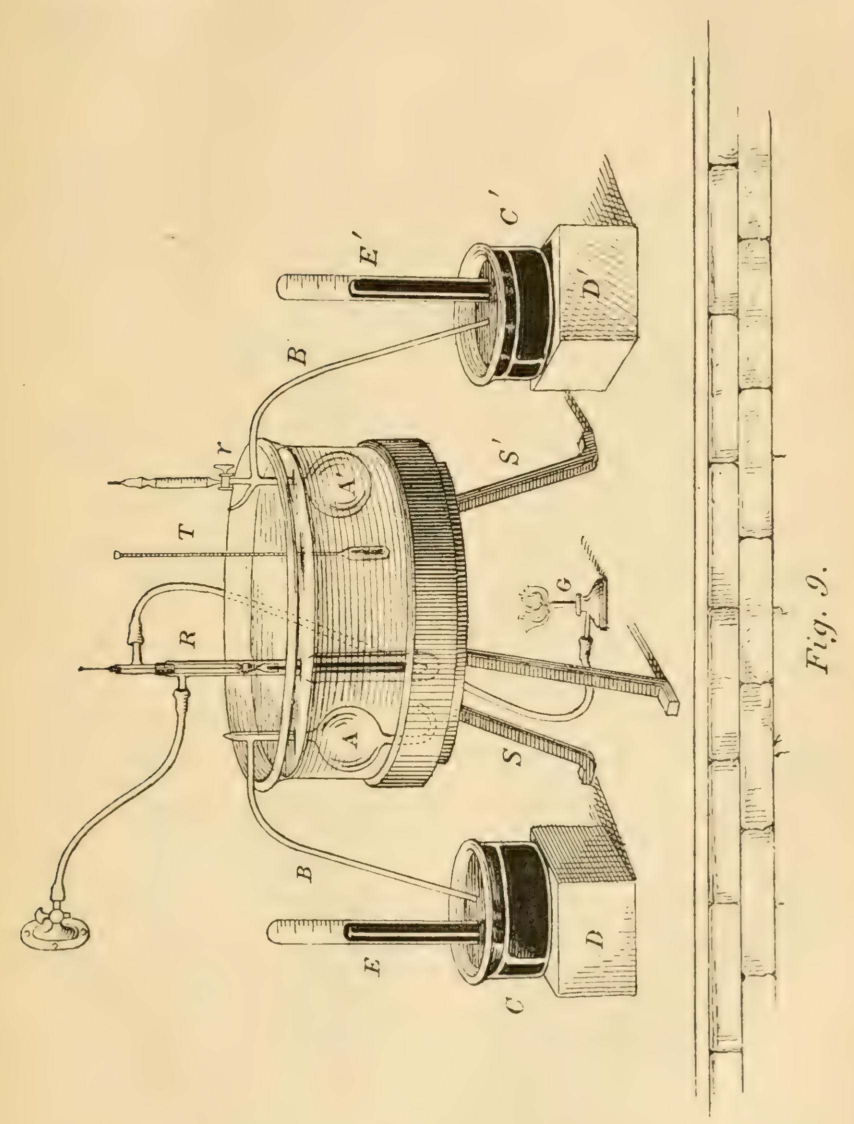



*Fig. 9.*

Les constatations faites par M. Merget, en établissant que le mercure se volatilise et se retrouve en nature dans les bouillons de

culture[1], expliquent les insuccès dont nous avons parlé plus haut, et prouvent que ce métal ne peut pas être employé sans inconvénient dans l'étude de certains infiniment petits.

55. Obligés de renoncer aux appareils précédents, nous avons, après plusieurs tentatives infructueuses, adopté le dispositif de la figure 8, p. 262.

Une boule A, de 150 centimètres cubes de capacité environ, est soudée à deux tubes diamétralement opposés. Le tube inférieur est retourné en bec effilé *a* ; le tube supérieur porte un tube de dégagement capillaire B, et un étranglement *c*, au-dessus duquel on place une bourre de coton *b*.

Les ouvertures *a* et *d* étant scellées à la lampe, on flambe cet appareil dans un poêle à air chaud; pendant le refroidissement, l'air se purifie sur la bourre de coton.

Pour introduire un liquide, bouillon ou semence, on y plonge le tube *d* préalablement flambé et ouvert, et on aspire par *b*. On retire ensuite *d*, on le flambe, et on détache à la lampe l'extrémité *b*.

L'appareil ainsi ensemencé est plongé dans un bain-marie à température constante, comme le montre la figure 9 où T est un thermomètre et R un régulateur de M. Dupetit[2].

Le tube abducteur seul et la pointe *c* sortent du bain. Le tube à

1. M. Royer a montré que les vapeurs de mercure peuvent se diffuser à travers les liquides (*Mémoires de la Société des Sciences physiques et naturelles* de Bordeaux, 2e série, t. IV, p. XIV, XXVII et 259).

2. Le régulateur dont nous nous servons a été imaginé par M. Dupetit (*Mémoires de la Société des Sciences physiques et naturelles* de Bordeaux, 2e série, t. V, p. 47).

Il se compose (fig. 10 et 11) d'un gros réservoir A contenant du mercure et du pétrole superposés; un tube central B, soudé au réservoir dans sa partie rétrécie, plonge dans le mercure M et est lui-même rempli de ce liquide. Par sa dilatation, le pétrole fait monter le mercure dans le tube B; en même temps un flotteur en verre F, lesté en *m*, et dont les mouvements sont facilités par quelques gouttes d'eau glycérinée, se soulève et vient fermer plus ou moins l'orifice d'arrivée du gaz. L'obturation est obtenue à l'aide d'un disque de verre D, relié au flotteur par un petit ressort en spirale *r*; une tige métallique *t*, qu'on peut élever ou abaisser à volonté, permet de laisser entre le tube à gaz C et le disque D l'ouverture nécessaire à l'entretien de la flamme minimum du bec. On règle à des températures plus ou moins élevées, en remontant plus ou moins le tube C, qui est maintenu dans l'axe de l'appareil à l'aide d'une couronne de bourrelets de verre *b*.

Cet appareil est d'une très grande sensibilité.

dégagement se rend sous une éprouvette pleine de mercure, mais on attend pour mettre l'éprouvette que le bouillon ait pris la température du bain ; la dilatation du liquide chasse alors la plus grande

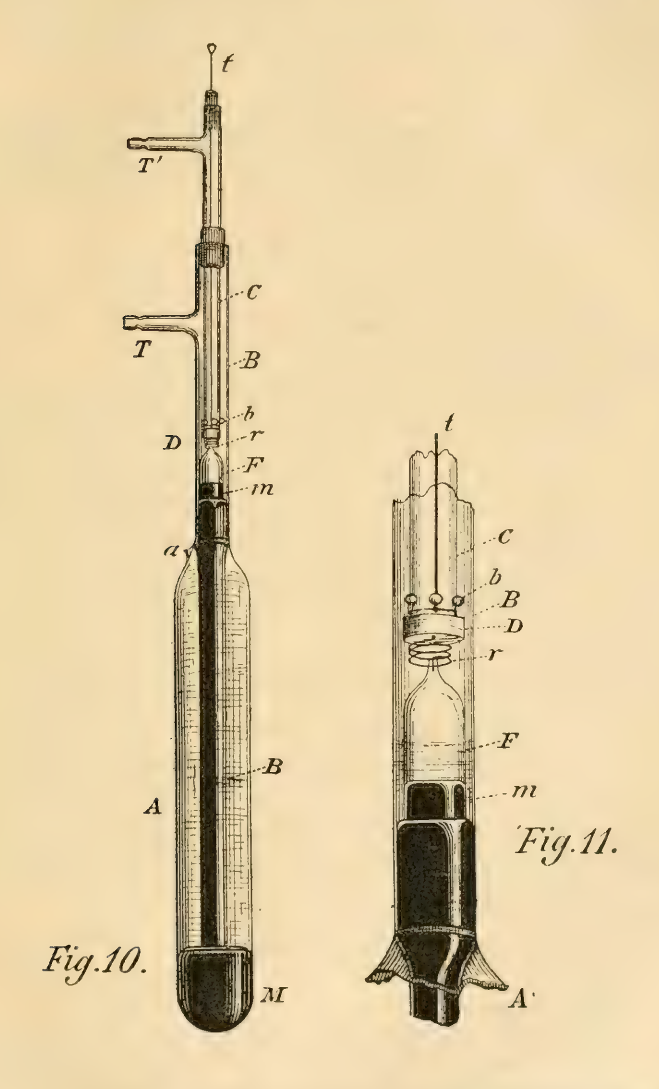



Fig.10.

Fig.11.

partie de l'air contenu en B, de sorte que ce qui en reste est absolument négligeable.

56. Appliquons maintenant l'appareil de la figure 8 à l'étude de la

réduction du nitrate de potasse par le *B. denitrificans* α, le plus actif de ceux que nous avons isolés.

Le 12 février, on met dans le bain à la température de 35 degrés, un vase plein de bouillon de bœuf contenant 12 grammes par litre d'azotate de potasse avec une petite quantité de semence âgée de trois jours.

Le liquide s'est troublé en quelques heures, et en moins d'un jour la fermentation est complètement établie. La mousse gagne le tube abducteur et vient se liquéfier à la surface du mercure, où le nitrate entraîné continue à fermenter.

Le 14, la fermentation est moins tumultueuse.

Le 16, elle est très ralentie.

Le 20, elle est à peine sensible.

Le 23, elle est nulle ; on met fin à l'expérience.

A ce moment la plus grande partie du gaz est dans l'éprouvette, en contact avec une petite quantité de liquide fermenté ; le reste est dans le ballon, à la place du bouillon que la mousse a entraîné. Pour recueillir ce dernier gaz, on relie par un caoutchouc le tube *a* avec un réservoir plein de mercure, et l'on brise la pointe ; en pénétrant dans l'appareil, le mercure chasse le gaz dans une éprouvette disposée à cet effet.

Ces deux volumes gazeux sont mesurés à 0° dans la glace fondante ; pour tenir compte de la pression propre à la vapeur du liquide fermenté, on la détermine directement dans un baromètre mouillé dont la chambre est recourbée et entourée de glace fondante.

Quant au liquide fermenté, on s'assure qu'il ne renferme plus de nitrate, et on l'utilise pour le dosage de l'acide carbonique dissous ou combiné et de l'ammoniaque formée.

Voici les données de l'expérience actuelle :

| | |
|---|---|
| Volume de l'appareil | 155$^{cc}$,8 |
| Densité du bouillon nitraté | 1014 |
| Richesse du bouillon en nitrate de potasse | 12$^{gr}$,000 par litre. |
| Poids du nitrate dissous | 1 ,870 |
| contenant { azote | 0 ,259 |
| contenant { oxygène nitrique | 0 ,741 |
| contenant { potasse | 0 ,870 |

Pour déterminer le volume à 0° et à 760 du gaz contenu dans la première éprouvette, on a les observations suivantes :

| | | |
|---|---|---|
| Volume lu à 0° | | 208cc |
| Pression atmosphérique réduite à 0° | | 764mm,0 |
| A retrancher : | | |
| 1° Hauteur du mercure dans l'éprouvette | 31mm,0 | |
| 2° Hauteur en mercure du liquide fermenté | 1 ,4 | 35 ,5 |
| 3° Tension de vapeur à 0° du liquide fermenté | 3 ,1 | |
| Pression de gaz | | 728mm,5 |

On en déduit par le calcul :

| | |
|---|---|
| Volume du gaz à 0° et à 760 | 199cc,4 |

La composition de ce gaz, déduite de deux analyses concordantes, est de :

| | |
|---|---|
| Azote | 93.91 |
| Acide carbonique | 6.09 |
| | 100.00 |

On a de même pour la seconde éprouvette de gaz :

| | | |
|---|---|---|
| Volume lu à 0° | | 23cc,4 |
| Pression atmosphérique réduite à 0° | | 764mm,0 |
| A retrancher : | | |
| 1° Hauteur du mercure dans l'éprouvette | 80mm,0 | |
| 2° Hauteur en mercure du liquide fermenté | 1 ,3 | 84 ,4 |
| 3° Tension de vapeur à 0° du liquide fermenté | 3 ,1 | |
| Pression du gaz | | 679mm,6 |

D'où l'on déduit :

| | |
|---|---|
| Volume du gaz à 0° et à 760 | 20cc,9 |

Ce gaz est composé de :

| | |
|---|---|
| Azote | 97.67 |
| Acide carbonique | 2.33 |
| | 100.00 |

Le gaz produit par la fermentation se compose donc de :

| | Azote. | Acide carbonique. | Gaz total. |
|---|---|---|---|
| | — | — | — |
| 1re éprouvette. . | 187cc,3 | 12cc,1 | 199cc,4 |
| 2e — . . | 20 ,4 | 0 ,5 | 20 ,9 |
| Totaux. . . . | 207cc,7 | 12cc,6 | 220cc,3 |

A ce volume d'acide carbonique, il faut ajouter celui qui a été retenu dans le liquide fermenté. Or, 50 centimètres cubes de ce liquide, traités par un acide dans le vide, ont donné 159 centimètres cubes d'acide carbonique pur, mesuré à 0° et à 760 ; les 155cc,8 de bouillon en contenaient donc $159 \times \frac{155,8}{50} = 495^{cc},4$.

On a par conséquent :

| | | |
|---|---|---|
| Acide carbonique gazeux . . . . . . . . . | | 12cc,6 |
| — | dissous ou combiné . . . . | 495 ,4 |
| | Total. . . . . | 508cc,0 |

Si l'on suppose que tout l'azote du nitrate se dégage à l'état de gaz et que tout l'oxygène nitrique donne un volume d'acide carbonique égal au sien, on pourra calculer les volumes théoriques et les rapprocher des volumes donnés par l'expérience, comme il est fait dans le tableau suivant :

| | VOLUMES calculés [1]. | VOLUMES trouvés. |
|---|---|---|
| | — | — |
| Azote . . . . . . . . . | 206cc | 207cc,7 |
| Acide carbonique. . . . . | 515 | 508 ,0 |

57. Ces nombres sont assez voisins pour qu'on puisse admettre que la réaction se passe suivant la formule simple :

$$2 (AzO^5 KO) + 5 C = 2 Az + 2 (KO, 2 CO^2) + CO^2,$$

le carbone étant emprunté à la matière organique du bouillon.

1. On a pris pour le poids du litre d'azote le nombre 1gr,256, et pour rapport des volumes d'oxygène nitrique et d'azote le nombre $\frac{5}{2} = \frac{\text{vol } O^5}{\text{vol Az}}$

L'acide carbonique non combiné à l'état de bicarbonate de potasse s'unirait en partie à l'ammoniaque formée pendant la réaction ; une autre partie se trouverait en solution dans le bouillon et le reste se dégagerait à l'état gazeux.

Il se fait en effet de l'ammoniaque, car on trouve, à l'aide de l'appareil de M. Schlœsing :

| | Par litre. | Total. |
|---|---|---|
| Ammoniaque dans le bouillon fermenté. . . | 493$^{mg}$ | 76$^{mg}$,8 |
| — — non ensemencé. | 19 | 3 ,0 |
| Ammoniaque formée pendant la réaction . . | 474$^{mg}$ | 73$^{mg}$,8 |

58. Voici les résultats d'une autre expérience, faite aussi à 35° avec le *B. denitrificans* $\alpha$, commencée le 29 janvier et terminée le 9 février suivant :

| | | |
|---|---|---|
| Volume du liquide employé | | 60$^{cc}$ |
| Poids de nitrate de potasse | | 0$^{gr}$,725 |
| contenant | azote. | 0 ,100 |
| | oxygène nitrique. | 0 ,287 |
| | potasse. | 0 ,338 |

Volume et composition du gaz recueilli :

| | | |
|---|---|---|
| Azote. | 95.84 soit | 83$^{cc}$,0 |
| Acide carbonique. | 4.16 — | 3 ,6 |
| | 100.00 | 86$^{cc}$,6 |

Volume d'acide carbonique extrait du bouillon fermenté : 200$^{cc}$.

Comparaison entre les volumes calculés et les volumes trouvés :

| | VOLUMES calculés. | VOLUMES trouvés. |
|---|---|---|
| Azote. | 80$^{cc}$ | 83$^{cc}$,0 |
| Acide carbonique | 200 | 203 ,6 |

Dosage de l'ammoniaque :

| | |
|---|---|
| Dans le liquide fermenté | 577$^{mg}$ par litre. |
| Dans le liquide non ensemencé. | 19 — |
| Ammoniaque formée dans la réaction | 558$^{mg}$ par litre. |

Soit 33$^{mg}$,5 pour le bouillon employé.

59. Citons encore l'expérience suivante, relative aussi au *Bacterium denitrificans* α, commencée le 29 janvier à la température de 35° et terminée le 4 février suivant :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Volume du bouillon nitraté | | | $157^{cc}$ |
| Poids du nitrate de potasse employé | | | $1^{gr},884$ |
| contenant | azote | | 0 ,261 |
| | oxygène nitrique | | 0 ,746 |
| | potasse | | 0 ,877 |

Volume et composition du gaz recueilli :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Azote | 90.82 | soit | $225^{cc},5$ |
| Acide carbonique | 9.18 | — | 22 ,8 |
| | 100.00 | | $248^{cc},3$ |
| Volume de l'acide carbonique dissous | | | $498^{cc},0$ |
| — — dégagé | | | 22 ,8 |
| — total de l'acide carbonique produit | | | $520^{cc},8$ |

Comparaison entre les volumes calculés et les volumes trouvés :

| | Calculés. | Trouvés. |
|---|---|---|
| Azote | $208^{cc}$ | $225^{cc},5$ |
| Acide carbonique | 520 | 520 ,8 |

Ammoniaque formée pendant la réaction : $576^{mg}$ par litre.
Soit $90^{mg},4$ pour le bouillon total.

60. Enfin, dans la dernière expérience que nous rapportons, l'ensemencement a été fait le 27 février ; on a recueilli successivement quatre éprouvettes de gaz jusqu'à la fin de la fermentation, arrivée le 9 mars. La température était toujours de 35° :

| | | |
|---|---|---|
| Volume du ballon | | $151^{cc}$ |
| Poids du nitrate de potasse | | $1^{gr},832$ |
| contenant | azote | 0 ,254 |
| | oxygène nitrique | 0 ,726 |
| | potasse | 0 ,852 |

Volumes de gaz dégagés dans les quatre éprouvettes :

| | 1re éprouvette. | 2e éprouvette. | 3e éprouvette. | 4e éprouvette. | Gaz total. |
|---|---|---|---|---|---|
| Azote | $70^{cc},1$ | $77^{cc},8$ | $49^{cc},5$ | $20^{cc},3$ | $217^{cc},7$ |
| Acide carbonique | 5 ,9 | 5 ,2 | 3 ,2 | 0 ,3 | 14 ,6 |
| | $76^{cc},0$ | $83^{cc},0$ | $52^{cc},7$ | $20^{cc},6$ | $232^{cc},3$ |

L'acide carbonique dissous ou combiné n'ayant pas été dosé exactement, on ne peut comparer que les volumes d'azote. On a ainsi :

| | |
|---|---|
| Volume d'azote calculé. . . . . . . . . . . . . . | 202cc |
| — — trouvé . . . . . . . . . . . . . . . | 217 ,7 |

Ammoniaque produite pendant la réaction : 576mg par litre.
Soit 87mg pour le volume de bouillon mis en expérience.

61. Résumons les quatre expériences précédentes et nous aurons le tableau suivant :

| POIDS de nitrate décomposé. | VOLUMES D'AZOTE | | VOLUMES d'acide carbonique | | AMMONIAQUE formée. |
|---|---|---|---|---|---|
| | calculés. | trouvés. | calculés. | trouvés. | |
| — | — | — | — | — | — |
| 1gr,870 | 206cc | 207cc,7 | 515cc | 508cc,0 | 73mg,8 |
| 0 ,725 | 80 | 83 ,0 | 200 | 203 ,6 | 33 ,5 |
| 1 ,884 | 208 | 225 ,5 | 520 | 520 ,8 | 90 ,4 |
| 1 ,832 | 202 | 217 ,7 | » | » | 87 ,0 |
| 6 ,311 | 696 | 733 ,9 | 1235 | 1232 ,4 | 284 ,7 |

On en déduit comme moyenne, pour un gramme de nitrate de potasse décomposé :

| | Calculé. | Trouvé. | Différences. |
|---|---|---|---|
| | — | — | — |
| Azote. . . . . . . | 110cc,3 | 116cc,3 | 6cc,0 soit 5.4 p. 100 en plus. |
| Acide carbonique . . | 275 ,7 | 275 ,2 | 0 ,5 — 0.2 — en moins. |
| Ammoniaque. . . . | » | 45mg,1 | » |

62. On voit que la différence entre le volume théorique et le volume trouvé d'acide carbonique est négligeable ; tout l'oxygène de l'acide nitrique peut donc être considéré comme combiné avec le carbone de la matière organique du bouillon. Quant à l'azote, l'écart entre le volume trouvé et le volume calculé d'après la formule écrite plus haut, ne peut s'expliquer en entier par des erreurs d'analyse ; l'excès provient donc de la matière organique azotée du liquide.

63. On le vérifie d'ailleurs autrement. Supposons, en effet, que la matière organique azotée du bouillon ait la composition habituelle

des matières albuminoïdes[1]. Comme pour faire 275$^{cc}$,7 d'acide carbonique à 0° et à 760, correspondant à un gramme d'azotate de potasse, il faut 0$^{gr}$,148 de carbone[2], le bouillon devra contenir 0.273 de matières albuminoïdes, qui se décomposent ainsi :

| | |
|---|---|
| Carbone | 0$^{gr}$,148 |
| Azote | 0 ,043 |
| Hydrogène, oxygène et soufre | 0 ,082 |
| | 0$^{gr}$,273 |

Or, pendant la fermentation, il s'est fait 45$^{mg}$,1 d'ammoniaque renfermant 37 milligrammes d'azote. Il reste donc 43 — 37 = 6 milligrammes d'azote non combinés à l'hydrogène et pouvant donner 4$^{cc}$,8 d'azote gazeux[3]. Ce chiffre, très peu différent de 6,0, justifie donc l'excès de gaz azote trouvé dans nos expériences.

64. En résumé, si l'on ne considère que le nitrate, la formule déjà admise :

$$2\,(AzO^5, KO) + 5\,C = 2\,Az + 2\,(KO, 2\,CO^2) + CO^2$$

est bien celle de la réaction.

Il en résulte une conséquence importante au point de vue de la richesse que doivent avoir les liquides de cultures en matière organique. En effet, nous venons de voir que, pour utiliser tout l'oxygène nitrique de l'azotate de potasse, il faut au moins 0$^{gr}$,148 de carbone ou 0$^{gr}$, 273 de substances albuminoïdes pour 1 gramme de sel. Nos solutions étant faites généralement à la dose de 10 grammes de nitrate par litre, il faut que les bouillons renferment au moins 2$^{gr}$,73

1.

| | |
|---|---|
| Carbone | 54.3 |
| Hydrogène | 7.1 |
| Azote | 15.8 |
| Oxygène | 21.0 |
| Soufre | 1.8 |
| | 100.0 |

(*Dictionnaire de Würtz,* article *Substances albuminoïdes.*)

2. On prend pour poids du litre d'acide carbonique 1$^{gr}$,293 + 1,529 = 1$^{gr}$,977.

3. On néglige ce que le microbe a pu utiliser pour sa multiplication, car le poids formé est extrêmement faible. Il a pu d'ailleurs emprunter de l'azote à de la matière albuminoïde non oxydée.

de matière azotée par litre. Si l'on y ajoute le poids des autres matières organiques et des matières minérales, l'extrait devra atteindre de 4 à 5 grammes au moins par litre. Or, le bouillon de bœuf qui nous a servi jusqu'ici en renferme 16gr,40, ce qui est plus que suffisant. Il est peu de microbes aussi exigeants que ceux qui nous occupent et nous en voyons la raison.

65. *Influence de la concentration du bouillon.* — D'après ce qui précède, en affaiblissant un bouillon avec de l'eau, on doit diminuer la dose de nitrate décomposable. C'est aussi ce qui est arrivé dans l'expérience suivante :

Le 23 mai, on ensemence également avec du *B. denitrificans* α, deux appareils de culture contenant :

*a.* { Bouillon de bœuf de densité 1014 [1].
Nitrate de potasse : 10 grammes par litre.

*b.* { Bouillon de bœuf étendu au quart (*d* = 1004).
Nitrate de potasse : 10 grammes par litre.

A la température de 35°, la fermentation a été plus lente et moins énergique avec *b* qu'avec *a* ; le 29, elle était terminée dans les deux appareils.

On a obtenu comparativement :

| | *a.* | *b.* |
|---|---|---|
| Volume de l'appareil | 162cc | 156cc |
| Nitrate restant par litre | 0gr,13 | 6gr,30 |
| — décomposé par litre | 9 ,87 | 3 ,70 |
| Poids total du nitrate décomposé | 1 ,599 | 0 ,577 |
| Volume total du gaz dégagé | 210cc,3 | 60cc,5 |
| Azote total dégagé | 187 ,9 | » |
| Acide carbonique dégagé | 22 ,4 | » |

Il a donc suffi d'ajouter de l'eau distillée au bouillon pour le priver d'une partie du carbone nécessaire à l'utilisation de tout l'oxygène nitrique.

66. En restituant ce carbone sous une autre forme, on pourra espérer que la fermentation du nitrate sera totale. Pour le vérifier,

1. Ce bouillon est préparé par l'ébullition pendant une heure de une partie viande de bœuf désossée et dégraissée et deux parties eau.

nous avons essayé d'emprunter ce corps à des matières non azotées, telles que glucose, amidon, lactate de chaux.

L'expérience a été faite, à 35°, dans les appareils de la figure 8, avec le même bouillon étendu au quart que celui de *b* dans l'expérience précédente, et le *B. denitrificans* α pour semence.

Le 20 mai, on a ensemencé :

*a.* { Bouillon de bœuf étendu ($d = 1004$).
Glucose : 5 p. 100.
Nitrate de potasse : 10 grammes par litre.

*b.* { Bouillon de bœuf étendu ($d = 1004$).
Amidon : 2 p. 100.
Nitrate de potasse : 10 grammes par litre.

*c.* { Bouillon de bœuf étendu ($d = 1004$).
Lactate de chaux : 5 p. 100.
Nitrate de potasse : 10 grammes par litre.

La fermentation ne s'est établie que dans *a* et *b* ; elle a été terminée le 29 ; le bouillon *c* est resté limpide. Le liquide glucosé n'a nullement l'odeur butyrique ; l'amidon s'est fluidifié et le bouillon est devenu presque transparent.

Le résultat est celui-ci :

| | *a.* | *b.* |
|---|---|---|
| Volume de l'appareil | 156cc | 136cc |
| Nitrate restant par litre | 0gr,00 | 5gr,25 |
| — décomposé par litre | 10 ,00 | 4 ,75 |
| Poids total de nitrate décomposé | 1 ,560 | 0 ,646 |
| Volume total du gaz dégagé | 240cc,3 | 66cc,3 |
| Azote total dégagé | 181 ,9 | » |
| Acide carbonique dégagé | 58 ,4 | » |

Le poids total de glucose détruit a été de 0gr,952.

67. Si l'on rapproche ces nombres de ceux de l'expérience précédente, on voit que les éléments du glucose peuvent se substituer à ceux du bouillon, pour conduire jusqu'à la fin la décomposition du nitrate. L'amidon, au contraire, n'a produit aucun effet, car la fermentation n'a pas été poussée plus loin qu'avec le bouillon étendu seul ; bien que devenu soluble, sans doute sous l'action de diastases sécrétées par le microbe, il n'a pas été saccharifié, et n'a pas pu s'oxyder en réduisant le salpêtre. Quant au lactate de chaux, il n'a même pas permis le développement du ferment.

68. Le *Bacterium denitrificans* β, quoique moins actif que l'autre, décompose néanmoins une assez forte proportion de salpêtre, et donne très sensiblement les mêmes produits, avec le bouillon de bœuf, ainsi qu'on peut en juger par l'expérience suivante :

Le 28 janvier, on ensemence un appareil (fig. 8) contenant du bouillon de bœuf nitraté à la dose de 12 grammes de sel par litre ($d$ = 1014) et on le place à la température constante de 35°.

Ls 29, trouble léger ; pas de bulles.

Le 30, le trouble a augmenté ; un peu de mousse dans le tube abducteur.

La fermentation s'est activée peu à peu ; elle a atteint son maximum le 10 février ; puis elle s'est ralentie, et le 26 février elle était terminée. Le nitrate de potasse n'était pas entièrement détruit ; il en restait 2gr,550 par litre ; il en avait été décomposé 9gr,450 par litre.

On a :

| | |
|---|---|
| Volume du ballon . . . . . . . . . . . . . . . . | 136cc |
| Poids total de nitrate détruit . . . . . . . . . . . | 1gr,285 |

Volume et composition du gaz dégagé :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Azote . . . . . . . . . . . . . . . . | 143cc,4 | soit | 83.15 |
| Acide carbonique . . . . . . . . . . . | 29 ,0 | — | 16.85 |
| | 172cc,4 | | 100.00 |

Le volume calculé d'azote est de 143cc,1, très voisin du volume trouvé.

Il ne s'est pas fait de protoxyde d'azote.

Le poids d'ammoniaque n'a été que de 187 milligrammes par litre, soit 25 milligrammes pour le volume de bouillon fermenté.

II. — *Production de protoxyde d'azote.*

69. Nous avons trouvé (page 249) que les *B. denitrificans* (α et β) se développent très bien et donnent une mousse abondante dans le liquide artificiel ainsi composé :

| | |
|---|---|
| Nitrate de potasse. . . . . . . . . . . . | 10gr |
| Acide citrique . . . . . . . . . . . . . . | 7 |
| Asparagine. . . . . . . . . . . . . . . | 5 |
| Phosphate de potasse. . . . . . . . . . . | 5 |
| Sulfate de magnésie. . . . . . . . . . . | 5 |
| Chlorure de calcium cristallisé. . . . . . . | 0 ,5 |
| Sulfate de protoxyde de fer . . . . . . . . | 0 ,05 |
| Sulfate d'alumine . . . . . . . . . . . . | 0 ,02 |
| Silicate de soude . . . . . . . . . . . . | 0 ,02 |
| Eau, pour volume total. . . . . . . . . . | 1000 |
| Ammoniaque. . . . . . . . . . . . . . . | q. s. pour neutraliser. |

Considérons d'abord l'action du microbe α. Avec lui, le nitrate est rapidement décomposé ; mais, au lieu de donner de l'azote pur, il dégage du protoxyde d'azote en quantité telle, que le gaz, débarrassé de son acide carbonique, peut rallumer une allumette présentant quelques points en ignition.

70. L'appareil de la figure 8, que nous avons déjà employé pour le bouillon de viande, va encore nous servir pour étudier la composition exacte du gaz dégagé, et rechercher l'influence de quelques conditions particulières sur cette composition.

Le 27 février, un de ces appareils est rempli de liquide artificiel stérilisé, ensemencé avec du *B. denitrificans* α, et placé dans un bain-marie à la température constante de 35°.

Un autre appareil contenant le même liquide artificiel, mais sans nitrate, est ensemencé comme le premier, et disposé à côté de lui ; il est resté parfaitement limpide jusqu'à la fin de l'expérience. C'est une nouvelle preuve que le milieu dont il s'agit est impropre au développement du microbe.

Le 28, à 8 heures du matin, léger trouble ; pas encore de bulles ; à 6 heures du soir, le liquide est très trouble, et le gaz commence à se dégager.

Le 1er mars, la fermentation est très active et le dégagement abondant. Elle s'affaiblit dès le lendemain, et, le 9, elle a cessé complètement.

Tout le nitrate a disparu.

Voici les données et les résultats de l'expérience :

| | | |
|---|---|---|
| Volume de l'appareil | | 153cc,8 |
| Densité du liquide artificiel | | 1021 |
| Richesse du liquide en nitrate de potasse | | 10gr,340 par litre [1]. |
| Poids total du nitrate employé | | 1 ,590 |
| contenant | azote | 0 ,220 |
| | oxygène nitrique | 0 ,630 |
| | potasse | 0 ,740 |

Le gaz a été recueilli dans deux éprouvettes ; les lectures, faites à 0°, ont été ramenées à la pression de 760.

On s'est assuré, dans chaque cas, de l'absence du bioxyde d'azote et l'on a dosé le protoxyde en l'absorbant par de l'alcool absolu préalablement bouilli et conservé dans des ampoules scellées.

Composition en centièmes :

| | 1re éprouvette. | 2e éprouvette. |
|---|---|---|
| Azote | 38.70 | 40.43 |
| Protoxyde d'azote | 49.10 | 40.96 |
| Acide carbonique | 12.20 | 18.61 |
| | 100.00 | 100.00 |

d'où pour les volumes recueillis :

| | 1re éprouvette. | 2e éprouvette. | Gaz total. |
|---|---|---|---|
| Azote | 47cc,8 | 13cc,4 | 61cc,2 |
| Protoxyde d'azote | 60 ,7 | 13 ,6 | 74 ,3 |
| Acide carbonique | 15 ,1 | 6 ,2 | 21 ,3 |
| | 123cc,6 | 33cc,2 | 156cc,8 |

Dosage de l'ammoniaque :

| | |
|---|---|
| Dans le liquide fermenté | 2gr,414 par litre. |
| — non ensemencé | 1 ,887 — |
| Ammoniaque formée pendant la réaction | 0 ,527 par litre. |

Soit 81mgr,1 pour le volume total du liquide employé.

Les gaz dissous et l'acide carbonique combiné dans le liquide n'ont pas été mesurés directement ; mais on peut admettre, sans

1. Ce nombre diffère un peu de celui qui est indiqué dans le tableau de la composition du liquide artificiel, parce que la stérilisition, qui est faite à l'autoclave dans des flacons bouchés seulement avec du coton, modifie légèrement la proportion d'eau.

erreur sensible, les proportions de l'expérience suivante (71), qui a été faite dans les mêmes conditions. On trouve ainsi :

| | |
|---|---|
| Protoxyde d'azote | $29^{cc},9$ |
| Acide carbonique | 414 ,4 |

On en déduit pour la composition des produits gazeux de la réaction :

| | |
|---|---|
| Azote | $61^{cc},2$ |
| Protoxyde d'azote | 101 ,2 |
| Acide carbonique | 435 ,7 |

71. Le 12 mars, on répète l'expérience avec le même microbe, dans un appareil que nous désignerons par la lettre A.

Le 18, la fermentation est achevée :

| | | |
|---|---|---|
| Volume de l'appareil | | $141^{cc}$ |
| Poids du nitrate de potasse employé | | $1^{gr},385$ |
| renfermant | azote | 0 ,192 |
| | oxygène nitrique | 0 ,549 |
| | potasse | 0 ,644 |

Volume total et composition du gaz dégagé :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Azote | $63^{cc},6$ | soit | 48.03 |
| Protoxyde d'azote | 54 ,4 | — | 41.09 |
| Potasse | 14 ,4 | — | 10.88 |
| | $132^{cc},4$ | | 100.00 |

Gaz dissous et acide carbonique combiné :

| | |
|---|---|
| Protoxyde d'azote | $27^{cc},4$ |
| Acide carbonique | 379 ,9 |

Les produits gazeux de la réaction sont donc formés de :

| | |
|---|---|
| Azote | $63^{cc},6$ |
| Protoxyde d'azote | 81 ,8 |
| Acide carbonique | 394 ,3 |

Ammoniaque formée pendant la fermentation : 459 milligrammes par litre, soit $64^{mgr},7$, pour le volume de liquide artificiel employé.

72. Le protoxyde d'azote renfermant son volume d'azote, on

obtiendra le volume total de l'azote dégagé, libre ou combiné avec l'oxygène, en faisant la somme Az + AzO; si l'on rapproche alors les résultats de l'expérience des volumes calculés, on trouve :

| POIDS de nitrate décomposé. | VOLUMES D'AZOTE | | VOLUMES d'acide carbonique. | | AMMONIAQUE formée. |
|---|---|---|---|---|---|
| | Calculés. | Trouvés. | Calculés. | Trouvés. | |
| 1gr,590 | 175cc,0 | 165cc,4 | 437cc,5 | 435cc,7 | 81mmg,1 |
| 1 ,385 | 152 ,7 | 145 ,4 | 381 ,7 | 394 ,3 | 64 ,7 |
| 2 ,975 | 327 ,7 | 310 ,8 | 819 ,2 | 830 ,0 | 145 ,8 |

La moyenne de ces résultats donne pour un gramme de sel décomposé :

| | Calculé. | Trouvé. | Différence. |
|---|---|---|---|
| Azote. . . . . . . | 110cc,2 | 104cc,5 | 5.7 soit 5.1 p. 100 en moins. |
| Acide carbonique. . | 275 ,7 | 279 ,0 | 3.3 — 1.2 — en plus. |
| Ammoniaque. . . . | » | 49mg | |

Comme dans la fermentation du bouillon nitraté, la différence entre le volume calculé et le volume trouvé d'acide carbonique est peu importante, on peut admettre que tout l'oxygène nitrique sert à brûler le charbon de la matière organique du milieu. Le poids d'ammoniaque formée est sensiblement le même dans le liquide artificiel que dans le bouillon. Quant à l'azote, au lieu de trouver un excès, comme à la page 271, nous avons au contraire un déficit de 5 p. 100, qui tient sans doute à la composition spéciale du liquide. Nous n'avons pas contrôlé cette hypothèse, parce que notre but principal, dans ces expériences, était de constater la formation du protoxyde d'azote dans des conditions déterminées de milieu et de rechercher quelques circonstances pouvant influer sur sa proportion.

73. 1° *Influence de la température.* — Le 12 mars, on dispose un appareil à fermentation B, sur la table du laboratoire, à la température ordinaire, dont la moyenne a été de 15 degrés. Cet appareil renferme le même liquide artificiel, la même quantité de la même semence, et est installé en même temps que l'appareil A de l'expérience précédente, lequel a été mis à 35 degrés.

La fermentation s'est établie lentement :

Le 17, le liquide est opalin ; la mousse commence à se former.

Le 26, le liquide est trouble ; le gaz se dégage faiblement.

Le 10 avril, le dégagement a cessé, bien qu'il reste dans l'appareil beaucoup de nitrate de potasse non décomposé.

Voici, par comparaison avec l'appareil maintenu à 35 degrés, le volume et la composition du gaz recueilli :

| | A. ($t = 35°$.) | B. ($t = 15°$.) |
|---|---|---|
| Volume total dégagé | 132cc,4 | 58cc,0 |

Composition centésimale :

| | | |
|---|---|---|
| Azote | 48.03 | 60.35 |
| Protoxyde d'azote | 41.09 | 16.55 |
| Acide carbonique | 10.88 | 23.10 |
| | 100.00 | 100.00 |

L'élévation de la température favorise donc la production du protoxyde d'azote.

74. 2° *Influence de la quantité de semence.* — A la même température, et dans le même liquide, on peut aussi faire varier la proportion du protoxyde d'azote ; il suffit, pour cela, d'une modification en apparence insignifiante dans le détail de la mise en marche de la fermentation.

Ainsi, le 12 mars, on a placé à côté de l'appareil A ci-dessus, dans le même bain, à la température de 35 degrés, un appareil semblable C ; mais tandis que A a reçu 10 gouttes de semence, C n'en a reçu qu'une goutte.

Le 13, alors que A dégageait déjà du gaz, C commençait à peine à se troubler.

Le lendemain 14, la fermentation était très active dans les deux appareils ; elle était achevée dans l'un et l'autre, le 17.

Il y a donc eu seulement du retard dans le départ de la fermentation, et cependant la proportion de protoxyde d'azote a été, toutes choses égales d'ailleurs, beaucoup plus abondante dans C que dans A, ainsi que le montre la comparaison des résultats obtenus :

| | A. | C. |
|---|---|---|
| Volume total du gaz dégagé | 132cc,4 | 127cc,7 |

Composition centésimale :

| | | |
|---|---|---|
| Azote | 48.03 | 13.31 |
| Protoxyde d'azote | 41.09 | 75.57 |
| Acide carbonique | 10.88 | 11.12 |
| | 100.00 | 100.00 |
| Ammoniaque formée par litre | 459$^{mg}$ | 476$^{mg}$ |

Tandis qu'avec A il s'est fait moins de protoxyde d'azote que d'azote, avec C, il y en a eu près de six fois plus.

75. 3° *Influence de la concentration.* — Enfin, la concentration même du liquide artificiel fait varier la composition du gaz dégagé.

Le 17 mai, on ensemence avec du *B. denitrificans* α et on met à 35° deux ballons contenant :

*a.* — Liquide artificiel normal ($d = 1021$).
*b.* — — étendu ($d = 1012$).

La fermentation est commencée dès le lendemain et achevée le 20 dans les deux appareils.

Le gaz recueilli est ainsi composé :

| | Dans *a*. | Dans *b*. |
|---|---|---|
| Azote | 35.24 | 61.89 |
| Protoxyde d'azote | 47.68 | 31.83 |
| Acide carbonique | 17.08 | 6.28 |
| | 100.00 | 100.00 |

La proportion relative de protoxyde d'azote augmente ainsi avec la concentration comme avec la température.

76. 4° *Influence de la nature du microbe.* — Après un tel résultat, on ne sera pas étonné qu'en changeant de microbe, le liquide et la température restant identiques, on puisse voir disparaître le protoxyde d'azote lui-même. Le cas se présente si l'on prend pour semence le *B. denitrificans* β.

Ainsi, le 12 mars, en même temps que les appareils A et C (74), on a mis à 35° un ballon D contenant du liquide artificiel complet et ensemencé avec dix gouttes d'un bouillon où le microbe dont il s'agit s'était développé : A et D sont donc tout à fait comparables.

Le liquide s'est peu troublé, le gaz n'a commencé à se dégager

que le 26, et enfin toute fermentation n'a cessé que le 10 avril suivant ; il restait beaucoup de nitrate non décomposé.

Volume du gaz recueilli. . . . . . . . . . 48cc,6

Composition centésimale :

| | |
|---|---|
| Azote. . . . . . . . . . . . . . . . . . | 82.30 |
| Protoxyde d'azote. . . . . . . . . . . . . | 0.00 |
| Acide carbonique . . . . . . . . . . . . . | 17.70 |
| | 100.00 |

On ne peut invoquer ici pour expliquer l'absence de protoxyde la lenteur de la fermentation, car dans l'appareil B (73), où elle n'a pas été plus active, on a trouvé néanmoins 16.55 p. 100 de ce gaz, malgré la température relativement basse de l'expérience.

77. Il résulte de ces divers essais que :

1° Le *B. denitrificans* α donne toujours à la fois de l'azote et du protoxyde d'azote avec notre liquide artificiel complet.

2° Le *B. denitrificans* β ne donne que de l'azote dans les mêmes conditions.

78. 5° *Influence de l'asparagine.* — Mais le premier de ces infiniment petits peut aussi ne dégager que de l'azote ; il suffit pour cela de supprimer l'asparagine dans le liquide artificiel.

L'expérience est faite parallèlement dans deux appareils contenant :

*a.* — Liquide artificiel, avec asparagine.
*b.* — — sans asparagine.

Le 23, on ensemence ces deux liquides avec le même microbe α, et on met les appareils à la température de 35 degrés.

La fermentation a été plus active dans *b* que dans *a*, surtout au début ; le 27, elle est terminée dans les deux appareils.

Le gaz recueilli est composé de :

| | *a.* | *b.* |
|---|---|---|
| Azote . . . . . . . . . . . . . . . | 64.65 | 81.35 |
| Protoxyde d'azote. . . . . . . . . . . | 23.23 | 0.00 |
| Acide carbonique . . . . . . . . . . . | 12.12 | 18.65 |
| | 100.00 | 100.00 |

On s'est assuré qu'il n'y avait point de bioxyde d'azote.

Le liquide était un peu étendu ($d = 1018$ au lieu de 1021), ce qui explique pourquoi la proportion de protoxyde d'azote est plus faible qu'avec le liquide normal.

79. La formation de protoxyde d'azote, dans la décomposition des nitrates par les infiniment petits, est donc fonction à la fois de la composition du milieu, de la nature du microbe et de son activité physiologique. Il est peu probable, d'après cela, qu'il existe des organismes donnant toujours du protoxyde d'azote pur, quel que soit le liquide nutritif employé dans les cultures.

---

## CHAPITRE III

### Mécanisme de la réduction.

80. Nous avons fréquemment employé, dans les chapitres précédents, les expressions de « fermentation » et de « ferment » ; il nous reste à examiner si elles sont justifiées.

On a déjà vu que la réduction des nitrates par le *Bacterium denitrificans* (α ou β) présente les caractères extérieurs d'une véritable fermentation : trouble, mousse, dégagement de gaz. De plus, le poids des organismes développés est infime par rapport au poids des substances détruites, ce qui est le propre des ferments. Enfin, la chaleur dégagée est considérable, comme le prouve l'expérience.

81. Il est difficile de mesurer toute la chaleur produite pendant une fermentation, parce que le phénomène est lent et que les pertes par rayonnement, par conductibilité ou par toute autre cause, compensent en grande partie l'élévation de température due à la réaction. Mais on peut avoir une première approximation, un minimum, en déterminant une fermentation énergique à l'aide d'une semence active et abondante, et en opérant sur de grands volumes de liquide, dans des vases peu conducteurs ou protégés contre le refroidissement par une couche isolante de laine ou de coton.

82. Voici une expérience disposée avec ces précautions :

Un grand ballon en verre, de six à sept litres de capacité, est fermé par un bouchon percé de trois trous (fig. 12) par où passent : 1° un tube D deux fois recourbé et effilé en *a*, destiné au remplissage et à l'ensemencement ; 2° un tube coudé C, muni d'une bourre de coton *b*, pour l'aspiration ; 3° un tube à essai ordinaire A, dont le fond pénètre jusqu'au centre du ballon : ce tube renferme un peu de mercure où plonge un thermomètre T, destiné à mesurer les températures du liquide.

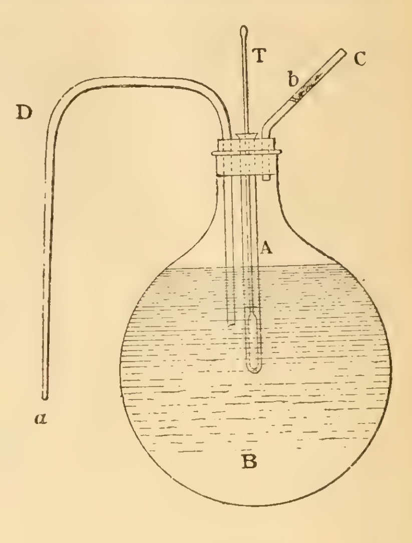



*Fig. 12.*

L'ensemble peut être chauffé à 200 degrés dans un poêle à gaz, si cela est nécessaire. Après refroidissement, on introduit l'extrémité ouverte *a* dans un réservoir contenant le liquide de culture, préalablement stérilisé, et l'on aspire par le tube C. On remplit ainsi lentement le ballon, jusqu'à une certaine distance du col, de façon à laisser de la place à la mousse produite pendant la fermentation.

Le 17 octobre, on prépare, comme on vient de le dire, quatre ballons contenant respectivement :

B, du bouillon de bœuf à 10 grammes de nitrate de potasse par litre ;
$B_1$, de l'eau pure ;
B′, du liquide artificiel renfermant 15 grammes de salpêtre par litre ;
$B_1'$, de l'eau pure.

Chaque ballon, muni d'un thermomètre contrôlé, est porté à la température de 35 degrés ; B et B′ sont ensemencés largement avec du *B. denitrificans* α pris dans du bouillon en pleine fermentation ; $B_1$ et $B_1'$ doivent servir de termes de comparaison.

Les quatre ballons sont alors disposés comme l'indique la figure 13, au milieu d'une couche épaisse de laine L dans une caisse rectangu-

laire en bois, à l'intérieur d'une étuve chauffée à la température moyenne de 35 degrés.

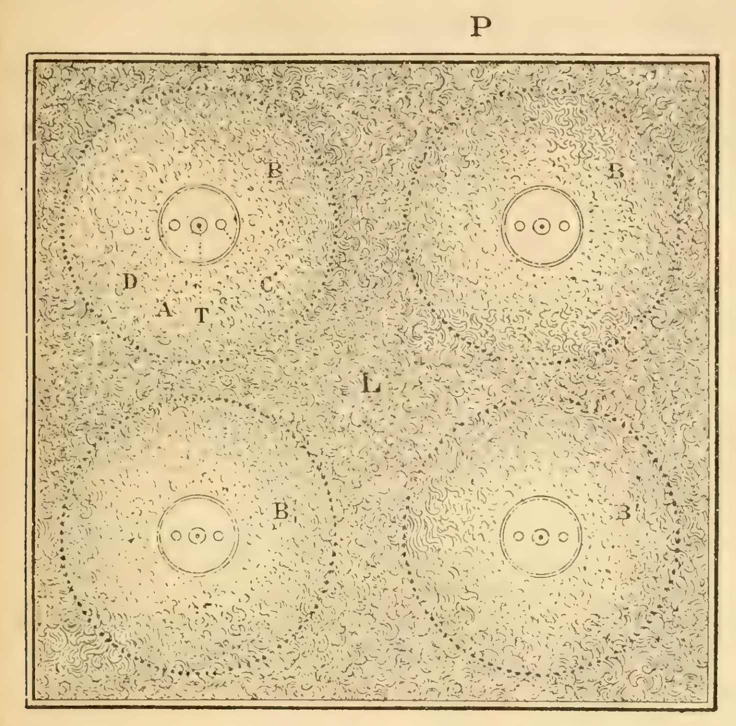



*Fig. 13.*

Le tableau suivant donne les températures observées :

| | BALLON B. (Bouillon). | BALLON $B_1$. (Eau). | BALLON B'. (Liquide artificiel). | BALLON $B_1'$. (Eau). |
|---|---|---|---|---|
| Le 17, à 6h 30m du soir. . . | 35° 0 | 35° 0 | 35° 0 | 35° 0 |
| Le 18, à 9 30 du matin . . | 37 5 | 34 0 | 36 6 | 34 0 |
| — à 10 30 — . . | 37 7 | 33 5 | 37 4 | 33 5 |
| — à 11 30 — . . | 38 0 | 33 5 | 38 2 | 33 9 |
| — à 4 » du soir. . . | 39 3 | 33 8 | 43 5 | 34 0 |
| — à 5 15 — . . . | 39 3 | 34 0 | 44 0 | 34 0 |
| — à 6 45 — . . . | 39 0 | 34 0 | 43 8 | 34 0 |
| — à 8 30 — . . . | 38 8 | 34 0 | 43 2 | 34 0 |
| Le 19, à 10 » du matin . . | 38 7 | 34 2 | 39 0 | 34 0 |
| — à 3 30 du soir. . . | 36 5 | 34 1 | 37 8 | 34 0 |
| Le 20, à 9 » du matin . . | 35 4 | 34 0 | 35 1 | 33 6 |
| Le 21, à 3 » du soir. . . | 33 0 | 32 5 | 32 5 | 32 1 |

En prenant les moyennes de $B_1$ et de $B_1'$ et les retranchant respectivement des chiffres trouvés pour B et pour B′, on aura les excès successifs de température dus à la fermentation, abstraction faite de la température variable de l'étuve ; on obtient ainsi :

| TEMPS ÉCOULÉ depuis l'ensemencement. | TEMPÉRATURES moyennes de $B_1$ et de $B'_1$. | EXCÈS DE TEMPÉRATURE dans B. | dans B′. |
|---|---|---|---|
| Heures. | | | |
| 0. . . . . | 35° 00 | 0° 00 | 0° 00 |
| 15. . . . . | 34 00 | 3 50 | 2 60 |
| 17. . . . . | 33 50 | 4 50 | 4 70 |
| 21 1/2 . . . | 33 85 | 5 45 | 9 65 |
| 22 3/4 . . . | 34 00 | 5 30 | 10 00 |
| 24 1/4 . . . | 34 00 | 5 00 | 9 80 |
| 26. . . . . | 34 00 | 4 80 | 9 20 |
| 39 1/2 . . . | 34 10 | 4 60 | 4 90 |
| 45. . . . . | 34 05 | 2 45 | 3 75 |
| 66 1/2 . . . | 33 80 | 1 60 | 1 30 |
| 92 1/2 . . . | 32 30 | 0 70 | 0 20 |

83. Ces résultats sont représentés d'une manière plus saisissante par les courbes de la figure 14, où les abscisses sont proportionnelles

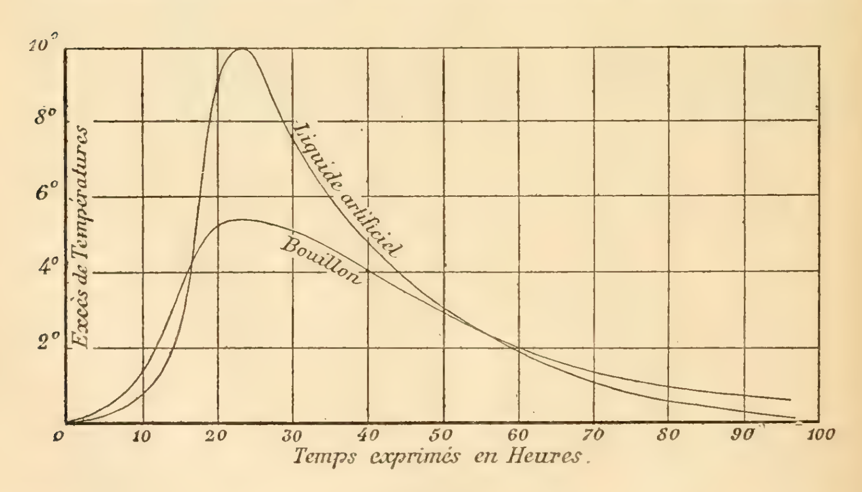



*Fig: 14.*

aux temps et les ordonnées proportionnelles aux excès de température.

On voit que l'élévation de température, dans les conditions de notre expérience, a atteint :

| | |
|---|---|
| Pour le bouillon . . . . . . . . . . . . . . | 5°45 |
| Pour le liquide artificiel . . . . . . . . . . | 10 00 |

84. On peut prévoir, par le calcul, qu'il doit y avoir dégagement de chaleur, bien que la décomposition du nitrate de potasse suivant la formule

$$AzO^5, KO = Az + O^5 + KO$$

se fasse, comme on sait, avec absorption de chaleur.

Soit d'abord le bouillon. On a vu que le carbone de la matière albuminoïde est brûlé par l'oxygène de l'acide nitrique, et que les quatre cinquièmes de l'acide carbonique formé donnent du bicarbonate de potasse, le reste de l'acide carbonique se retrouvant à l'état libre dans le gaz dégagé, ou en solution dans la liqueur, ou en combinaison avec de l'ammoniaque. Si l'on ne considère que les réactions les plus importantes, on a :

| | | |
|---|---|---|
| $2\,(KO, AzO^5)$ diss. $= 2\,KO$ diss. $+ 2\,Az + 10\,O$. | $-28^c,1$[1] $\times 2 =$ | $-\ \ 56^c,2$ |
| $5\,C$ (diamant) $+ 10\,O = 5\,CO^2$ diss. . . . . . | $+49,8 \times 5 =$ | $+249,0$ |
| $2\,KO$ diss. $+ 4\,CO^2$ diss. $= 2\,(KO, 2\,CO^2)$ diss. | $+11,1 \times 2 =$ | $+\ \ 22,2$ |
| Total. . . . . . . . . . . | | $+215,0$ |

Pour avoir un chiffre exact, il faudrait ajouter au précédent les quantités de chaleur provenant de toutes les autres réactions, et, en particulier, de la décomposition de la matière organique et de la formation de carbonate d'ammoniaque. Mais cette première approximation est suffisante pour montrer le sens du phénomène thermique.

C'est donc au minimum $\frac{215}{2} = 107^c,5$ qui apparaissent dans la

1. Ce nombre se calcule ainsi :

| | |
|---|---|
| $KO, AzO^5$ diss. $=$ KO diss. $+ AzO^5$ diss. . . . . | $-13^c,8$ |
| $AzO^5$ diss. $= Az + 5O$. . . . . . . . . . . . . . | $-14,3$ |

d'où, en faisant la somme membre à membre,

| | |
|---|---|
| $KO, AzO^5$ diss. $=$ KO diss. $+ Az + 5O$. . . . . | $-28^c,1$ |

réduction d'un équivalent, soit de 101 grammes de salpêtre ; admettons, pour simplifier, une Calorie par gramme de sel.

Comme notre bouillon renferme 10 grammes de nitrate de potasse par litre, la fermentation lui fournira 10 Calories par litre, et, comme pour ce liquide, Pc[1] diffère peu de l'unité, la température devra s'élever de 10 degrés environ. Dans la pratique, l'augmentation sera moindre, parce que le phénomène n'est pas instantané, qu'il y a des causes de déperdition et que le microbe utilise une partie de la chaleur pour son développement. Nous n'avons obtenu plus haut que 5°45.

85. Avec le liquide artificiel, on trouve des résultats analogues. Le cas le plus simple est celui où nous n'avons employé comme matière organique que de l'acide citrique, sans asparagine ; nous avons montré (78) que le *B. denitrificans* $\alpha$ décompose alors le nitrate, comme avec le bouillon, et dégage de l'azote sans protoxyde d'azote.

Le calcul s'établit comme suit, en supposant que l'acide citrique se transforme tout entier en acide carbonique et en eau :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 18 ($AzO^5$, KO) diss. = 18 KO diss. + 18 Az + 90 O. | — 28c,1 | × 18 = | — | 505c,8 |
| 5 $C^{12}H^8O^{14}$ diss. + 90 O = 60 $CO^2$ diss. + 40 HO. | + 526 ,0[2] | × 5 = | + | 2630 ,0 |
| 18 KO diss. + 36 $CO^2$ diss. = 18 (KO, 2 $CO^2$) diss. . | + 11 ,1 | × 18 = | + | 199 ,8 |
| | | Total. . . . . . . . . . . . | + | 2324 ,0 |

On néglige toutes les autres réactions, telles que décomposition du citrate d'ammoniaque, formation de carbonate d'ammoniaque, dissolution ou dégagement d'une partie de l'acide carbonique, dont l'ensemble ne changerait pas sensiblement le total précédent.

Il résulte de cette première approximation que la réduction complète d'un équivalent de salpêtre, dans le liquide artificiel, dégage au minimum $\frac{2324}{18} = 129$ Calories, et que la réduction de 15 grammes

1. P est le poids d'un litre de bouillon, c sa chaleur spécifique.

2. Ce nombre résulte du calcul suivant :

On a :

Chaleur de combustion de l'acide citrique solide, dégage + 486c.

donc :

$C^{12}H^8O^{14}$ diss. + 18O = 12 $CO^2$ diss. + 8 HO, dégage 486 + 6,4 + 2,8 × 12 = + 526c.

6,4 et 2,8 étant les chaleurs de dissolution de l'acide citrique et de l'acide carbonique.

de sel dégage $\frac{129}{101} \times 15 = 19$ Calories environ. Si toute cette chaleur était appliquée à un litre d'eau, ou, ce qui est très près de la vérité, si Pc était égal à l'unité pour le liquide artificiel, on aurait obtenu une élévation de température de 19 degrés, abstraction faite des causes de déperdition énumérées plus haut. Nous avons observé seulement 10 degrés.

86. La théorie et l'expérience sont ainsi d'accord pour montrer que la réduction des nitrates par le *B. denitrificans* est accompagnée d'un grand dégagement de chaleur. Il ne manque donc rien au phénomène pour qu'il ait les caractères d'une véritable fermentation.

Quant au microbe, il dispose d'une énergie extérieure bien supérieure à celle qui lui est nécessaire pour son développement, et se trouve, par ce fait, plus favorisé que la plupart des ferments les mieux définis[1].

1. Peu de fermentations fournissent autant de chaleur *sensible* que la dénitrification. On verra plus loin que le thermomètre n'a accusé aucune élévation de température dans la fermentation butyrique du glucose et de l'amidon. La fermentation alcoolique elle-même, dans les mêmes conditions expérimentales, donne peu de chaleur; l'expérience suivante en est la preuve :

Le 15 décembre, on a mis dans le ballon B de la figure 13 de l'eau de levure sucrée à 180 grammes (l'équivalent du glucose) par litre; dans le ballon B', la même eau de levure sucrée à 18 grammes (le dixième de l'équivalent) par litre; dans $B_1$ et $B_1'$ de l'eau, comme dans l'expérience n° 82. Les ballons B et B' ont été ensemencés largement avec une levure haute de brasserie en pleine activité.

La fermentation s'est déclarée rapidement; la mousse a été épaisse et abondante; au bout de trois jours, la mousse commence à tomber. Le 18, on met fin à l'expérience et l'on dose le glucose restant : dans $B_1$ il en reste 77 grammes par litre; il y en a donc eu 103 grammes par litre transformés en alcool et acide carbonique; dans B', il ne reste rien; tout a fermenté.

Voici le tableau des températures observées et les excès qu'on en déduit :

| | TEMPÉRATURES OBSERVÉES | | | EXCÈS DE TEMPÉRATURES | |
|---|---|---|---|---|---|
| | dans B. | dans B'. | moyenne de $B_1$ et de $B'_1$. | dans B. | dans B'. |
| Le 15 décembre, à 11 h. du matin. | 25°50 | 25°45 | 25°45 | 0°05 | 0°00 |
| Le 16 — à 10 h. du matin. | 26 00 | 25 10 | 24 95 | 1 05 | 0 15 |
| — — à 6 h. du soir . . | 26 00 | 25 00 | 24 65 | 1 35 | 0 35 |
| Le 17 — à 11 h. du matin. | 26 00 | 24 90 | 24 30 | 1 70 | 0 60 |
| — — à 7 h. du soir . . | 26 00 | 24 70 | 24 10 | 1 90 | 0 60 |
| Le 18 — à 9 h. du matin . | 25 60 | 24 20 | 23 75 | 1 85 | 0 45 |

Ainsi, pour plus de 100 grammes de sucre disparu par litre en trois jours, la température s'est élevée de moins de 2 degrés dans B, et pour 18 grammes disparus dans

87. On ne peut cependant ranger la dénitrification dans la classe des fermentations proprement dites, dont la fermentation alcoolique est le type, parce qu'ici il n'y a pas de corps fermentescible unique, tel que le sucre, dont le dédoublement dégage la chaleur indispensable à la vie du ferment. D'une part, en effet, le nitrate, loin de fournir de la chaleur, en absorbe au contraire pour se décomposer. D'autre part, les substances qui, avec le nitrate, constituent nos liquides de culture, ne permettent pas, seules, la vie du *B. denitrificans,* en dehors de l'oxygène de l'air, car nous avons vu que, dans des vases complètement remplis et ensemencés avec du ferment jeune et actif, le liquide artificiel, exempt de nitrate, conserve indéfiniment une limpidité parfaite, et que le bouillon, dans les mêmes conditions, devient à peine opalescent. Mais ces substances qui, sans oxygène libre, ne sont pas fermentescibles pour notre microbe, sont néanmoins favorables à son développement au contact de l'air, puisque, dans ce cas, les liquides en grande surface se recouvrent d'une couche épaisse et membraneuse de bactéries.

Le concours simultané du nitrate et de la substance organique du milieu est donc indispensable pour constituer la *matière fermentescible.* Ce qui le prouve encore, c'est que le dégagement gazeux

---

B′, l'excès n'a pas dépassé 0°60. Ce dégagement *sensible* de chaleur est donc beaucoup plus faible que dans la dénitrification, puisque, toutes choses égales d'ailleurs, la réduction de 10 grammes seulement de salpêtre par litre a donné un excès de 5°45.

Le calcul conduit d'ailleurs à un chiffre plus faible pour la fermentation alcoolique que pour la dénitrification. On a en effet :

$$C^{12} H^{12} O^{12} \text{ diss.} = 2\, C^4 H^6 O^2 \text{ diss.} + 4\, CO^2 \text{ gaz.} + x.$$

État initial . . . . $C^{12}, H^{12}, O^{12}$.
— final. . . . . $2\, C^4 H^6 O^2$ diss., $4\, CO^2$ gaz.

| | | |
|---|---|---|
| 1^er cycle. | $C^{12} + H^{12} + O^{12} = C^{12} H^{12} O^{12}$ diss. . . . . . . . . . | 267^c |
| | $C^{12} H^{12} O^{12}$ diss. $= 2\, C^4 H^6 O^2$ diss. $+ 4\, CO^2$ gaz . . . | $x$ |
| | | $267 + x$ |
| 2^e cycle . | $C^8 + H^{12} + O^4 = 2\, C^4 H^6 O^2$ diss . . . . . . . . . . . | 146 |
| | $4\, C + 8\, O = 4CO^2$ gaz . . . . . . . . . . . . . . . . | 188 |
| | | 334 |

d'où $x = 67$.

Abstraction faite des causes de déperdition, la chaleur théorique dégagée serait de 67 calories pour 180 grammes, soit de 37,2 calories pour 100 grammes de glucose, tandis que, pour la réduction de 100 grammes de salpêtre par le *B. denitrificans,* elle est, au minimum de 106 calories, soit trois fois plus forte.

cesse et les liqueurs s'éclaircissent, dès que la décomposition du sel est achevée.

88. Les remarques qui précèdent ne permettent pas non plus d'expliquer la dénitrification par une réaction secondaire, comme on le fait pour la formation d'acide sulfhydrique aux dépens du soufre dans les expériences si intéressantes de M. Miquel [1]. On ne peut en effet, comme dans ce dernier cas, produire, à volonté, des réactions successives ou simultanées. Ici, le nitrate et le milieu sont décomposés simultanément ; sinon, il n'y a pas réaction.

89. Comme on vient de le voir, le *B. denitrificans* ne peut pas, sans le concours d'un nitrate, faire fermenter les matières organiques que nous lui avons présentées, et il les laisse toutes intactes, y compris même le glucose et l'amidon ; il ne les décompose et ne s'en nourrit qu'en présence de l'oxygène libre ou d'un nitrate. Dès lors, on ne peut expliquer les phénomènes que nous avons étudiés par l'action d'un corps réducteur ayant pris naissance dans la décomposition des matières dont il s'agit.

Mais d'autres microbes font fermenter ces matières et engendrent des corps réducteurs, tels que de l'hydrogène naissant. Il était intéressant de rechercher si les nitrates, placés dans ces nouvelles conditions, seraient également décomposés.

90. Nous avons, dans ce but, isolé à l'état de pureté un *Bacillus amylobacter,* dont nous allons donner d'abord les caractères, et que nous ferons agir ensuite sur des liquides nitratés.

Nous avons choisi de préférence ce microbe, parce que, dans leurs recherches *sur la réduction des nitrates dans la terre arable,* MM. Dehérain et Maquenne [2] paraissent lui attribuer le rôle actif.

Il est facile de se le procurer, car il se développe spontanément dans toutes les macérations de matières amylacées. On l'isole et on le purifie en combinant des cultures successives avec la dilution, l'action de la chaleur et celle du vide.

Celui qui nous a servi présente la forme de bâtonnets de 0.8 à

---

1. Miquel, *Bulletin de la Société chimique,* t. XXXII, p. 127. — Duclaux, *Chimie biologique,* p. 717.

2. *Annales agronomiques,* t. IX, p. 6, 1883.

1.1 μ de largeur sur une longueur très variable comprise pourtant, en général, entre 5 et 10 μ. Chaque bâtonnet donne facilement une ou deux spores rondes ou légèrement ovoïdes, d'un diamètre presque toujours supérieur au sien et pouvant atteindre jusqu'à 1.2 et même 1.8 μ.

Le bacille est mobile, d'un mouvement assez lent, mais ses articles sont rigides et ne sont jamais flexueux comme ceux du vibrion butyrique du lactate de chaux.

L'iode le colore souvent en bleu, surtout un peu avant la formation des spores.

Il fait fermenter butyriquement le sucre, le glucose, l'empois d'amidon ; il sécrète une diastase qui fluidifie ce dernier, puis le saccharifie, avant de le dédoubler ; le gaz qui se dégage est composé d'hydrogène et d'acide carbonique ; il est sans action sur le lactate de chaux, additionné ou non de nitrate de potasse, ce qui le distingue encore du véritable vibrion butyrique. Il se rapproche à ce point de vue du *Bacillus butylicus* de M. A. Fitz ou du *Tyrothrix urocephalum* de M. Duclaux[1], dont il diffère d'ailleurs par d'autres caractères.

91. On peut colorer ce bacille par les procédés décrits à propos du *Bacterium denitrificans*, mais avec quelques modifications.

Comme il ne sécrète aucune matière visqueuse ou albuminoïde, il est nécessaire d'additionner les liquides de culture d'une petite quantité d'albumine avant de les étaler sur la lame de verre. Il faut de plus éliminer, s'il y a lieu, le glucose non décomposé ; on y arrive par un lavage à l'alcool, après fixation de la préparation par la chaleur. Quand l'alcool est évaporé, on ajoute la solution colorante, et on procède ensuite selon le mode ordinaire. Malgré ce lavage, il est fort difficile d'obtenir une bonne préparation colorée, si le liquide contient une forte proportion de glucose ; presque toujours dans ce cas, l'adhérence des microbes à la lame de verre est nulle et la plupart des organismes sont entraînés dans le lavage à l'eau.

La décoloration du fond de la préparation est plus difficile qu'avec la bactérie des nitrates ; aussi le séjour dans l'eau distillée doit-il être un peu plus prolongé.

1. Duclaux, *Chimie biologique*, p. 547 et 656.

92. Voici quelques expériences qui établissent le mode d'action du *Bacillus amylobacter* sur le glucose et sur l'amidon. Elles ont été faites avec des appareils de la forme de la figure 8 à la température de 35°.

Le 3 juin, on ensemence avec du *Bacillus amylobacter* deux appareils contenant :

> *a.* — Bouillon de bœuf étendu ($d = 1004$).
> Glucose : 5 p. 100.
> *b.* — Bouillon de bœuf étendu ($d = 1004$).
> Amidon en empois : 2 p. 100.

La fermentation s'est établie, beaucoup plus active avec *b* qu'avec *a* ; le 8, elle s'est arrêtée dans les deux appareils, sans doute parce que le liquide y est très acide.

Volume et composition du gaz dégagé :

| | *a.* | *b.* |
|---|---|---|
| Volume total du gaz | 73$^{cc}$ | 168$^{cc}$ |

Composé de :

| | | |
|---|---|---|
| Hydrogène | 75.34 | 49.46 |
| Acide carbonique | 24.66 | 50.54 |
| | 100.00 | 100.00 |

Il a disparu dans *a* 0.29 p. 100 de glucose, soit 0$^{gr}$.42 pour le liquide employé, dont le volume était de 146 centimètres cubes.

Dans l'appareil *b*, il ne reste plus d'amidon, car l'iode n'est pas bleui ; on y trouve :

| | |
|---|---|
| Glucose | [illegible] p. 100. |
| Dextrine | 0.36 — |

représentant environ 1 p. 100 d'amidon. Il y a donc eu à peu près 1 p. 100 d'amidon transformé par la fermentation butyrique.

93. Le 11 juin, nouvelle expérience dans les mêmes appareils contenant :

> *a.* — Bouillon de bœuf étendu ($d = 1004$).
> Glucose : 2 p. 100.
> *b.* — Bouillon de bœuf étendu ($d = 1004$).
> Amidon en empois : 2 p. 100.

Le 12, fermentation avec grosse mousse dans *a*, sans mousse dans *b*.

Le 15, *a* ne fermente plus ; dans *b*, fermentation très active.

Le 18, *b* ne fermente plus.

Comme dans l'expérience précédente, l'amidon convient mieux à ce bacille que le glucose. Le liquide fermenté est très acide dans les deux cas.

Gaz recueilli :

| | *a*. | *b*. |
|---|---|---|
| Volume total | 58$^{cc}$,4 | 346$^{cc}$,0 |

Composition centésimale :

| | | |
|---|---|---|
| Hydrogène | 80.47 | 44.10 |
| Acide carbonique | 19.53 | 55.90 |
| | 100.00 | 100.00 |

Si l'on prend la moyenne des résultats assez concordants obtenus dans ces deux expériences, on aura des chiffres qui représenteront l'action relative du *Bacillus amylobacter* sur le glucose et sur l'amidon, dans les conditions spéciales où la fermentation s'est opérée.

| | Pour le glucose. | Pour l'amidon. |
|---|---|---|
| Hydrogène | 77.90 | 46.78 |
| Acide carbonique | 22.10 | 53.22 |
| | 100.00 | 100.00 |

94. En mettant dans l'appareil à glucose du carbonate de chaux, pour saturer les acides, à mesure qu'ils se produisent, on pousse plus loin la fermentation, comme on devait s'y attendre.

Ainsi, le 18 juin, on ensemence avec le *B. amylobacter* une fiole à fond plat contenant, avec du carbonate de chaux stérilisé et étalé en grande surface, du bouillon de bœuf étendu ($d = 1004$) et additionné de 2 p. 100 de glucose.

La fermentation a été très active ; on a obtenu jusqu'au 22 :

| | |
|---|---|
| Volume total de gaz | 595$^{cc}$ |

Composé de :

| | | |
|---|---|---|
| Hydrogène . . . . . . . . . . . | 38.67 soit | 230cc,1 |
| Acide carbonique. . . . . . . . . . | 61.33 | 364 ,9 |
| | 100.00 | 595cc,0 |

95. Nous voilà donc en possession d'un microbe qui peut dégager, si on le désire, de grandes quantités de gaz hydrogène à l'état naissant, et qui, vraisemblablement, réduira rapidement les nitrates. Nous allons voir qu'il n'en est rien.

Et d'abord, on ne peut faire agir sur lui que de faibles quantités de nitrate, car son action sur le glucose ou sur l'amidon s'arrête dès que la proportion de sel dépasse 5 grammes environ par litre ; il faut, pour réussir, ajouter peu à peu ce sel à la liqueur en fermentation, ce qui exige l'emploi d'un dispositif spécial.

96. Dans divers essais, faits soit avec de la terre calcaire sucrée, soit avec du bouillon glucosé, additionné de carbonate de chaux, nous avons constaté que le nitrate était à peine réduit, malgré le dégagement abondant d'hydrogène. Nous avons craint que l'état solide du carbonate ne fût une cause d'erreur et d'illusion. Si l'on considère en effet un grain de carbonate ou de terre entouré d'une solution de glucose et de nitrate, l'action du bacille est très énergique en ce point, puisque la saturation des acides y est complète. L'hydrogène naissant peut réduire par conséquent tout le nitrate immédiatement voisin, mais s'il y en a en excès, ce qui est admissible, le gaz inutile sort bien vite, en se dégageant, de la sphère d'action du microbe. L'énergie qu'il possédait au moment précis de sa formation cesse alors d'être utilisable, et il traverse les couches supérieures du liquide, comme un simple courant d'hydrogène, sans attaquer le sel dissous.

97. Si peu importante que puisse être cette cause d'erreur dans un milieu toujours en mouvement par l'effet même de la fermentation, nous avons néanmoins voulu l'écarter complètement, en saturant les acides, au fur et à mesure de leur production, non par un carbonate solide, mais par une solution de carbonate de potasse.

L'appareil suivant permet d'ajouter aux liqueurs, quand on le veut, des solutions alcalines ou nitratées, sans introduire de gaz

étranger, et tout en conservant la pureté primitive du *Bacillus amylobacter*.

98. Cet appareil, représenté seul dans la fig. 16 et dans un bain d'eau à température constante (fig. 9), se compose d'une fiole ou ballon A dont le col porte un tube de dégagement B, et un petit tube *t* étranglé et muni d'une bourre de coton *b* ; l'ouverture du col est soudée à un tube à robinet R, surmonté d'un réservoir cylindrique T, de forme allongée et divisé en parties d'égale capacité. L'extrémité inférieure *o* s'ouvre à l'intérieur de A et l'orifice supérieur est recouvert du bouchon conique C des matras Pasteur.

L'appareil est stérilisé vide dans l'air chaud, avec son tube abducteur scellé à la lampe et le robinet R fermé. Pendant le refroidissement, l'air qui pénètre en A se purifie en *b* et celui qui entre en T se purifie sur le coton du bouchon conique C.

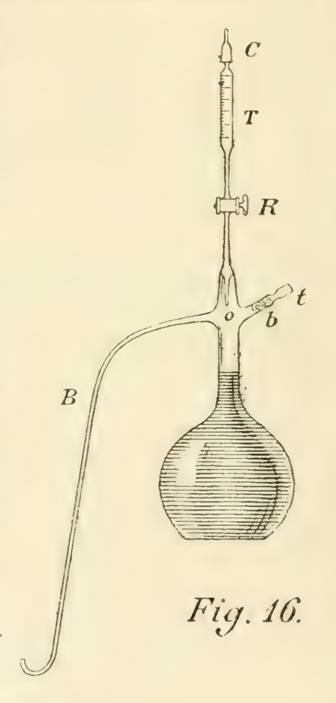


Fig. 16.

On introduit le liquide de fermentation, puis la semence, par la tubulure B, préalablement flambée et ouverte, en aspirant par le tube *t* ; on ferme alors l'étranglement à la lampe. La solution alcaline ou nitratée est versée en T, avec les précautions habituelles, comme dans une fiole de culture. Si l'on veut en faire écouler un volume connu dans le ballon A, il n'y a qu'à ouvrir le robinet R, de manière que le niveau supérieur du liquide parcourt un nombre déterminé de divisions.

99. 1° *Fermentation butyrique du glucose.* — Le 23 juillet, nous semons du *Bacillus amylobacter* très jeune dans deux de ces appareils, *a* et *a'*, contenant chacun du bouillon de bœuf étendu ($d = 1004$) et 2 p. 100 de glucose.

Le réservoir de *a* reçoit une solution aqueuse de :

Carbonate de potasse . . . . . . . . . . 20 p. 100.

Celui de *a'*, une solution aqueuse de :

| | |
|---|---|
| Carbonate de potasse . . . . . . . . . | 20 p. 100. |
| Nitrate de potasse . . . . . . . . . . . | 20 — |

Les deux ballons sont mis dans un bain à la température de 35°.

Le lendemain 24, la fermentation est établie dans les deux ; le volume et la composition du gaz dégagé sont sensiblement les mêmes ; on a en effet :

| | Dans *a*. | Dans *a'*. |
|---|---|---|
| | — | — |
| Volume total du gaz à 0° et à 760 . . . | 25cc | 19cc |

Composition centésimale :

| | | |
|---|---|---|
| Hydrogène. . . . . . . . . . . . . . | 85.83 | 85.41 |
| Acide carbonique . . . . . . . . . . | 14.17 | 14.59 |
| | 100.00 | 100.00 |

Cette composition diffère de celle de la page 295 : ce qui s'explique parce que, avant de se dégager, l'acide carbonique doit saturer le liquide.

L'état de la fermentation étant ainsi le même dans les deux appareils, on fait écouler du réservoir dans le ballon respectivement un centimètre cube de la solution alcaline de *a* et un centimètre cube de la solution alcaline nitratée de *a'* ; c'est donc 200 milligrammes de carbonate de potasse et 200 milligrammes d'azotate de potasse que l'on ajoute.

Le dégagement gazeux s'est tout d'abord un peu ralenti dans *a'* ; puis il est devenu plus actif que dans *a*. Le 26, on a recueilli une première éprouvette de gaz ; le 1er août, la fermentation a cessé.

Le dosage de l'acide carbonique a été fait avec la potasse, celui de l'hydrogène par l'eudiomètre ; on a ainsi obtenu :

| | AVEC *a*. | | | AVEC *a'*. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1re éprouvette. | 2e éprouvette. | Gaz total. | 1re éprouvette. | 2e éprouvette. | Gaz total. |
| | — | — | — | — | — | — |
| Azote . . . . . | 0cc,0 | 0cc,0 | 0cc,0 | 1cc,9 | 0cc,8 | 2cc,7 |
| Hydrogène. . . . | 35 ,9 | 3 ,9 | 39 ,8 | 21 ,9 | 5 ,3 | 27 ,2 |
| Acide carbonique. | 36 ,1 | 5 ,0 | 41 ,1 | 21 ,2 | 9 ,9 | 31 ,1 |
| | 72cc,0 | 8cc,9 | 80cc,9 | 45cc,0 | 16cc,0 | 61cc,0 |

Correspondant aux compositions centésimales suivantes :

| | AVEC *a*. | | | AVEC *a'* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1re éprouvette. | 2e éprouvette. | Gaz total. | 1re éprouvette. | 2e éprouvette. | Gaz total. |
| Azote. . . . . . | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.19 | 4.45 | 4.43 |
| Hydrogène. . . . | 49.86 | 43.56 | 49.20 | 48.73 | 33.43 | 44.59 |
| Acide carbonique. | 50.14 | 56.44 | 50.80 | 47.08 | 62.12 | 50.98 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

Les deux ballons avaient exactement la même capacité, 159 centimètres cubes.

La proportion d'acide carbonique s'est accrue par la décomposition du carbonate de potasse. Mais il est remarquable qu'elle soit exactement la même, 51 p. 100 environ, dans les deux cas. Si le volume total du gaz dégagé est plus faible avec *a'* qu'avec *a*, cela peut tenir à la gène que le microbe éprouve en présence du nitrate de potasse.

Les deux liquides sont butyriques et un peu acides ; *a'* renferme de faibles traces de nitrite.

Le dosage du nitrate et du glucose montre qu'il a disparu :

| | |
|---|---|
| Dans *a*. . . . . . . . . . . . . | 0gr,51 de glucose |
| Dans *a'*. . . . . . . . . . . . . | 0 ,51 de glucose. |
| | 0 ,0535 de nitrate. |

La proportion de salpètre réduit est donc de 26.7 p. 100 du sel ajouté.

Le titrage de l'ammoniaque a donné :

| | Par litre. | Pour 159cc (vol. commun de *a* et de *a'*). |
|---|---|---|
| Dans le bouillon non ensemencé. . | 45mg,9 | 7mg,3 |
| Dans *a*. . . . . . . . . . . . . | 40 ,1 | 6 ,4 |
| Dans *a'*. . . . . . . . . . . . . | 71 ,1 | 11 ,3 |

D'où l'on déduit les variations dues à la fermentation :

| | | |
|---|---|---|
| Perte dans *a*. . . . . . . . . . | 5mg,8 | 0mg,9 |
| Gain dans *a'*. . . . . . . . . . | 25 ,2 | 4 ,0 |
| Gain total dû à la présence du nitrate. | 31mg,0 | 4mg,9 |
| Azote correspondant à ce gain. . . | 25 ,5 | 4 ,0 |

Ajoutons le poids de l'azote ammoniacal à celui des $2^{cc},7$ d'azote dégagé à l'état de gaz, et nous aurons :

| | |
|---|---|
| Azote ammoniacal. . . . . . . . . . . | $4^{mg},0$ |
| Azote gazeux. . . . . . . . . . . . . . | $3\ ,4$ |
| Total. . . . . . . | $7^{mg},4$ |

Or, les $53^{mg},5$ de salpêtre détruit renferment précisément $7^{mg},4$ d'azote. Nous voyons ainsi que l'hydrogène naissant n'a transformé en ammoniaque que 54 p. 100 de l'azote nitrique provenant de la réduction.

100. 2° *Fermentation butyrique de l'amidon.* — En même temps que l'essai précédent, et dans le même bain à 35°, on a disposé, le 23 juillet, deux autres ballons *b* et *b'* ensemencés avec le même ferment et contenant l'un et l'autre du bouillon de bœuf étendu ($d = 1004$) avec 2 p. 100 d'empois d'amidon. Le réservoir de *b* ne renferme qu'une solution aqueuse de carbonate de potasse à 20 p. 100 ; celui de *b'* renferme une solution aqueuse de 20 p. 100 de carbonate de potasse et de 20 p. 100 de nitrate de potasse.

Le 24, la fermentation est établie également dans les deux ; les gaz dégagés ont même composition et sensiblement même volume ; on a, en effet :

| | Dans *b*. | Dans *b'*. |
|---|---|---|
| Volume total du gaz à 0° et à 760 . . . | $66^{cc}$ | $62^{cc}$ |

Composition centésimale :

| | | |
|---|---|---|
| Hydrogène. . . . . . . . . . . . . . | 78.20 | 77.79 |
| Acide carbonique . . . . . . . . . . | 21.80 | 22.21 |
| | 100.00 | 100.00 |

On fait alors écouler respectivement un centimètre cube des solutions alcalines.

La fermentation n'a pas paru retardée dans *b'* par suite de la présence du nitrate de potasse ; le gaz a été recueilli et analysé les 26, 27 et 28 juillet et 1<sup>er</sup> août. On met fin à l'expérience le 1<sup>er</sup> août, parce que la fermentation est achevée dans les deux ballons.

Voici les volumes de gaz recueillis successivement :

Dans *b* :

| | Le 26 juill. | Le 27 juill. | Le 28 juill. | Le 1er août. | Gaz total. |
|---|---|---|---|---|---|
| Azote. . . . . . . | 0cc,0 [1] | 0cc,0 | 0cc,0 | 0cc,0 | 0cc,0 |
| Hydrogène. . . . . | 80 ,6 | 68 ,7 | 45 ,3 | 44 ,0 | 238 ,6 |
| Acide carbonique . . | 108 ,4 | 114 ,3 | 73 ,7 | 74 ,4 | 370 ,8 |
| | 189cc,0 | 183cc,0 | 119cc,0 | 118cc,4 | 609cc,4 |

Correspondant à la composition centésimale :

| | Le 26 juill. | Le 27 juill. | Le 28 juill. | Le 1er août. | Gaz total. |
|---|---|---|---|---|---|
| Azote. . . . . . . | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hydrogène. . . . . | 49.86 | 36.16 | 38.04 | 43.56 | 39.15 |
| Acide carbonique . . | 50.14 | 63.84 | 61.96 | 56.44 | 60.85 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

Dans *b'*, on a eu :

| | Le 26 juill. | Le 27 juill. | Le 28 juill. | Le 1er août. | Gaz total. |
|---|---|---|---|---|---|
| Azote. . . . . . . | 0cc,0 [1] | 0cc,0 | 0cc,3 | 1cc,1 | 1cc,4 |
| Hydrogène. . . . . | 84 ,1 | 77 ,1 | 33 ,0 | 14 ,8 | 209 ,0 |
| Acide carbonique . . | 108 ,9 | 142 ,9 | 72 ,2 | 37 ,1 | 361 ,1 |
| | 193cc,0 | 220cc,0 | 105cc,5 | 53cc,0 | 571cc,5 |

1. En raison de l'importance de ces résultats, nous donnons ci-dessous, comme exemple, le détail des analyses eudiométriques du 26 juillet, faites sur les gaz de *b* et de *b'* dépouillés de leur acide carbonique par la potasse.

On a pour *b* :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Gaz mis dans l'eudiomètre. . . . | 17.3 | Oxygène ajouté. . . . . . . . . . . . . . . . | 25.0 |
| Après addition d'oxygène . . . . | 42.3 | | |
| Après étincelle . . . . . . . . . | 16.5 : | Gaz disparu : 25.8 représentant Hydrogène . . | 17.2 |
| | | Oxygène . . . | 8.6 |
| Après pyrogallate de potasse . . | 0.1 : | Oxygène non utilisé. . . . . . . . . . . . . . | 16.4 |

Pour *b'* :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Gaz mis dans l'eudiomètre. . . . | 17.0 | Oxygène ajouté. . . . . . . . . . . . . . . . | 25.3 |
| Après addition d'oxygène . . . . | 42.3 | | |
| Après étincelle . . . . . . . . . | 17.1 : | Gaz disparu : 25.2 représentant Hydrogène . . | 16.8 |
| | | Oxygène . . . | 8.4 |
| Après pyrogallate de potasse. . . | 0.2 : | Oxygène non employé. . . . . . . . . . . . . | 16.9 |

Ce qui représente des traces douteuses d'azote.

Correspondant à la composition centésimale :

| | Le 26 juill. | Le 27 juill. | Le 28 juill. | Le 1er août. | Gaz total. |
|---|---|---|---|---|---|
| Azote | 0.00 | 0.00 | 0.28 | 2.05 | 0.25 |
| Hydrogène | 43.55 | 35.00 | 31.26 | 27.86 | 36.57 |
| Acide carbonique | 56.45 | 65.00 | 68.46 | 70.09 | 63.18 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

Il est possible que la grande dilution de l'azote dans l'hydrogène rende l'analyse un peu incertaine, et que son volume total soit un peu plus fort que celui que nous avons trouvé ; quoi qu'il en soit, il ne saurait être beaucoup plus élevé.

Le liquide fermenté a l'odeur butyrique, mais il est peu acide et ne renferme pas de nitrites. L'amidon n'existe plus ; ce qui n'a pas été décomposé par le *B. amylobacter* a été transformé en glucose et en dextrine par les diastases de ce ferment ; on trouve en effet :

| | VOLUME du ballon. | Glucose. | Dextrine. |
|---|---|---|---|
| Dans *b* | 170cc | 0gr,54 | 0gr,63 |
| Dans *b'* | 165 | 0 ,34 | 0 ,62 |

Ce qui correspond à 15 grammes environ d'amidon disparu par litre.

La comparaison du nitrate employé et du nitrate restant donne :

| | |
|---|---|
| Ajouté | 200mg |
| Restant | 176 ,5 |
| Disparu | 23mg,5 |

Soit 11.7 p. 100 du sel ajouté.

Quant à l'ammoniaque, non seulement il ne s'en est pas fait, mais encore la plus grande partie de celle qui existait dans le bouillon non ensemencé a disparu. On a en effet trouvé :

| | Par litre. | Pour 165cc (volume de *b'*.) |
|---|---|---|
| Ammoniaque dans le bouillon non ensemencé | 45mg,9 | 7mg,6 |
| — dans *b* | 2 ,4 | 0 ,4 |
| — dans *b'* | 3 ,4 | 0 ,6 |

d'où l'on déduit :

| | | |
|---|---|---|
| Perte d'ammoniaque dans *b* | 43 ,5 | 7 ,2 |
| — dans *b'* | 42 ,5 | 7 ,0 |
| Différence en faveur du liquide nitraté | 1 ,0 | 0 ,2 |

Ces derniers chiffres montrent que l'azote provenant du nitrate réduit n'a pas formé de quantité appréciable d'ammoniaque et qu'il s'est dégagé presque tout entier à l'état gazeux.

101. Si l'on compare les poids d'ammoniaque disparus dans les appareils *a* du n° 99 et *b* du n° 100 avec les volumes totaux de gaz dégagés, on trouve exactement le même rapport. On a :

| | Avec *a* (glucose). | Avec *b* (amidon). | Rapport $\frac{b}{a}$ |
|---|---|---|---|
| | — | — | — |
| Volume total du gaz dégagé . . | $80^{cc},9$ | $609^{cc},4$ | 7.53 |
| Ammoniaque absorbée par litre. | $5^{mg},8$ | $43^{mg},5$ | 7.50 |

Ce résultat curieux s'explique naturellement, si l'on admet que l'énergie de la fermentation soit mesurée par le volume total du gaz dégagé, et que le ferment ait emprunté à l'ammoniaque l'azote de ses matières albuminoïdes. C'est dire, ce qui est admissible, que l'énergie de la fermentation a été proportionnelle au poids du ferment engendré.

102. 3° *Fermentation butyrique du sucre de canne.* — Enfin nous avons voulu nous placer dans les conditions des expériences de MM. Dehérain et Maquenne, et faire fermenter ensemble du sucre et du nitrate de potasse dans de la terre végétale; mais nous avons opéré avec des vases et des liquides stérilisés et avec un ferment pur.

Les appareils de fermentation qui nous ont servi jusqu'ici ne pouvaient convenir pour la terre sucrée. En effet, celle-ci, soulevée par les gaz qui se dégagent, obstrue bientôt le tube abducteur. Pour éviter cet inconvénient, nous avons adopté la modification ci-contre (fig. 17). Le ballon A est toujours soudé à un tube abducteur C et à un petit tube *t* étranglé et muni d'une bourre de coton *b;* mais la tubulure B′ est largement ouverte, pour permettre l'introduction des matières so-

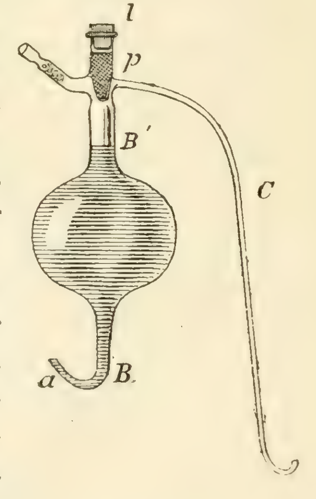


Fig. 17.

lides. Quand on a mis la terre, le sucre et le nitrate voulus dans le ballon, on introduit une sorte de corbeille en fils de platine *p*, qui doit descendre au-dessous de l'orifice du tube de dégagement, et on ferme l'ouverture avec un excellent bouchon de liège *l*. La stérilisation, puis l'introduction de l'eau et de la semence se font avec les précautions déjà décrites ; enfin, on ferme à la lampe le tube *t* et l'on mastique le bouchon de liège avec de la cire Golaz.

Si l'on redoute le passage d'une trop grande quantité de liquide dans l'éprouvette, par suite du soulèvement de la terre, on ne remplit pas complètement l'appareil ; mais alors on chasse l'air par un courant d'acide carbonique, avant de sceller le tube *t*.

103. Le 9 juillet, on met dans un de ces appareils :

| | |
|---|---|
| Terre de jardin riche en calcaire . . . . . | 100gr |
| Nitrate de potasse . . . . . . . . . . . | 0 ,50 |
| Sucre de canne . . . . . . . . . . . . | 5 |
| Eau distillée. . . . . . . . . . . . . . | q. s. |

Après stérilisation, on ensemence le ballon avec du *Bacillus amylobacter* jeune.

La fermentation est très active et se termine le 20.

Voici le résultat :

| | |
|---|---|
| Hydrogène dégagé. . . . . . . . . . . . | 203cc,1 |
| Acide carbonique . . . . . . . . . . . . | 228 ,5 |
| Gaz total dégagé. . . . . . . | 431cc,6 |

Composé p. 100, de :

| | |
|---|---|
| Azote. . . . . . . . . . . . . . . . . . | Traces. |
| Hydrogène. . . . . . . . . . . . . . . | 47.06 |
| Acide carbonique . . . . . . . . . . . . | 52.94 |
| | 100.00 |

De l'analyse du liquide fermenté, on déduit :

| | |
|---|---|
| Nitrate disparu . . . . . . . . . . . . . | Traces. |
| Sucre disparu. . . . . . . . . . . . . . | 0gr,76 |

104. L'expérience a été répétée le 30 juillet avec les mêmes poids

relatifs de terre, de sucre et de salpêtre, et elle a donné un résultat tout semblable :

| | |
|---|---|
| Nitrate restant . . . . . . . . . . . . . . | 494$^{mg}$ |
| — disparu . . . . . . . . . . . . . . | 6 |
| Sucre disparu . . . . . . . . . . . . . . | 0$^{gr}$,75 |

Le gaz dégagé renfermait 147$^{cc}$,5 d'hydrogène.

Ces essais prouvent que dans les expériences de MM. Dehérain et Maquenne la réduction du nitrate de potasse n'était pas due à l'hydrogène naissant et que leur vibrion butyrique n'était pas pur.

105. En résumé, on voit que le *Bacillus amylobacter* laisse intact le nitrate de potasse en présence du sucre, et qu'il n'en réduit qu'une faible partie en présence de l'amidon ou du glucose, bien que les liqueurs soient acides et que de l'hydrogène en excès se dégage à l'état gazeux.

Cependant, si l'on calcule la chaleur produite par la transformation du glucose [1] en acide butyrique, hydrogène et acide carbonique suivant la formule :

$$C^{12}H^{12}O^{12} = C^8H^8O^4 + 4H + 2C^2O^4$$

et par la réaction de ces corps sur le salpêtre, on trouve des nombres qui expliqueraient, théoriquement du moins, la réduction complète du nitrate de potasse.

106. Deux cas principaux peuvent se présenter :

1° L'azote nitrique se dégage, d'après la réaction :

$$AzO^5, KO + 5H = Az + 5HO + KO$$

2° L'azote nitrique se transforme en entier en ammoniaque, suivant la formule :

$$AzO^5, KO + 8H = AzH^3 + 5HO + KO$$

1. Avec notre microbe, il se fait aussi de l'alcool butylique et de l'alcool amylique, mais par des réactions qui ne dégagent pas d'hydrogène et qui ne peuvent avoir, ici, d'effet réducteur sur le salpêtre. Ces réactions ont pour formules :

$$C^{12}H^{12}O^{12} = C^8H^{10}O^2 + H^2O^2 + 2C^2O^4$$
$$5C^{12}H^{12}O^{12} = 4C^{10}H^{12}O^2 + 6H^2O^2 + 10C^2O^4$$

Chacun de ces cas se subdivise lui-même en deux, selon que l'acide carbonique produit pendant la fermentation butyrique se dégage en liberté, ou qu'il se combine avec le carbonate alcalin pour former du bicarbonate.

### 1° *L'azote nitrique se dégage.*

*a) L'acide carbonique se dégage.*

L'équation de la réaction finale est :

$$5\,C^{12}H^{12}O^{12} + 4\,(AzO^5, KO) + KO, CO^2 = 5\,C^8H^7KO^4 + 4\,Az + 21\,CO^2 + 25\,HO$$

On a, pour le calcul de la chaleur dégagée :

| | |
|---|---|
| État initial . . . . . | $5\,(C^{12}, H^{12}, O^{12})$, $4\,Az$, $20\,O$, $5\,KO$ diss., $CO^2$ gaz. |
| — final. . . . . . | $5\,C^8H^7KO^4$ diss., $4\,Az$, $21\,CO^2$ gaz., $25\,HO$ |

1er *Cycle.*

| | |
|---|---|
| $5(C^{12} + H^{12} + O^{12}) = 5\,C^{12}H^{12}O^{12}$ diss. . . . . . | $267^c \times 5 = 1335^c$ |
| $4\,Az + 20\,O + 4\,KO$ diss. $= 4\,(AzO^5, KO)$ diss. . . . | $28,1 \times 4 = 112,4$ |
| $KO$ diss. $+ CO^2$ gaz. $= KO, CO^2$ diss. . . . . . . . | $12,9$ |
| $5\,C^{12}H^{12}O^{12}$ diss. $+ 4\,(AzO^5, KO)$ diss. $+ KO, CO^2$ diss. $= 5\,C^8H^7KO^4$ diss. $+ 4\,Az + 21\,CO^2$ gaz. $+ 25\,HO$. | $x$ |
| | $1460,3 + x$ |

2e *Cycle.*

| | |
|---|---|
| $5(C^8 + H^8 + O^4) = 5\,C^8H^8O^4$ diss. . . . . . . . . . . . | $156 \times 5 = 780$ |
| $5\,C^8H^8O^4$ diss. $+ 5\,KO$ diss. $= 5\,C^8H^7KO^4$ diss. $+ 5\,HO$ . | $13,7 \times 5 = 68,5$ |
| $20\,H + 20\,O = 20\,HO$. . . . . . . . . . . . . . . . . . | $34,5 \times 20 = 690$ |
| $20\,C + 40\,O = 20\,CO^2$ gaz. . . . . . . . . . . . . . | $47 \times 20 = 940$ |
| | $2478,5$ |

d'où :

$$x = 2478,5 - 1460,3 = 1018,2$$

La chaleur dégagée est donc de :

$$\frac{1018,2}{5} = 203^c,6 \text{ pour 180 grammes de glucose}$$

et de

$$\frac{1018,2}{4} = 254,5 \text{ pour 101 grammes de salpêtre.}$$

*a') L'acide carbonique fait du bicarbonate.*

L'équation de la réaction est :

$$5C^{12}H^{12}O^{12} + 4\,(AzO^5, KO) + 22\,(KO, CO^2) = 5C^8H^7KO^4 + 21\,(KO, C^2O^4) + 4\,Az + 25\,HO$$

En tenant compte du calcul précédent, on a :

| | | |
|---|---|---|
| $5C^{12}H^{12}O^{12}$ diss. + 4 $(AzO^5, KO)$ diss. + $KO, CO^2$ diss. $= 5\,C^8H^7KO^4$ diss. + 4 Az + 21 $CO^2$ gaz. + 25 HO. . . . | | 1018,2 |
| 21 $CO^2$ gaz. + aq. = 21 $CO^2$ diss. . . . . . . . . . . . . . | $2{,}8 \times 21 =$ | 58,8 |
| 21 $(KO, CO^2)$ diss. + 21 $CO^2$ diss. = 21 $(KO, C^2O^4)$ diss. . . | | 21,0 |
| | | 1098,0 |

ce qui fait

$$\frac{1098}{5} = 219^c{,}6 \text{ pour 180 grammes de glucose}$$

et

$$\frac{1098}{4} = 274{,}5 \text{ pour 101 grammes de salpêtre.}$$

### 2° *L'azote nitrique fait de l'ammoniaque.*

*b) L'acide carbonique se dégage.*

Équation de la réaction :

$$2\,C^{12}H^{12}O^{12} + KO, AzO^5 = C^8H^7KO^4 + C^8H^8O^4, AzH^3 + 8\,CO^2 + 6\,HO$$

Le calcul s'établit ainsi :

État initial. . . $2\,(C^{12}, H^{12}, O^{12})$, $AzO^5$, KO diss.

— final. . . . $C^8H^7KO^4$ diss., $C^8H^8O^4, AzH^3$ diss., 8 $CO^2$ gaz., 6 HO

1er *Cycle.*

| | |
|---|---|
| $2\,(C^{12} + H^{12} + O^{12}) = 2\,C^{12}H^{12}O^{12}$ diss. . . . . . . . | $534^c$ |
| $Az + O^5 + KO$ diss. $= AzO^5, KO$ diss. . . . . . . . . | 28 ,1 |
| $2\,(C^{12}H^{12}O^{12})$ diss. + $AzO^5$, KO diss. = $C^8H^7KO^4$ diss. + $C^8H^8O^4, AzH^3$ diss. + 8 $CO^2$ gaz. + 6 HO. . . | $y$ |
| | $562{,}1 + y$ |

2e *Cycle.*

| | |
|---|---|
| $2\,(C^8 + H^8 + O^4) = 2\,C^8H^8O^4$ diss. . . . . . . . . | 312 |
| $C^8H^8O^4$ diss + KO diss. = $C^8H^7KO^4$ diss. + HO . . . | 13,7 |
| $Az + H^3 = AzH^3$ diss. . . . . . . . . . . . . . . . | 21 |
| $C^8H^8O^4$ diss. + $AzH^3$ diss. = $C^8H^8O^4, AzH^3$ diss. . . . | 12,4[1] |
| $8\,C + 16\,O = 8\,CO^2$ gaz. . . . . . . . . . . . . . . | 376 |
| $5\,H + 5\,O = 5\,HO$. . . . . . . . . . . . . . . . . | 172,5 |
| | 907,6 |

d'où :

$$y = 907{,}6 - 562{,}1 = 345{,}5$$

1. Ce chiffre a été déterminé, pour nous, par M. Joannis, qui a bien voulu, en outre, vérifier l'exactitude de nos calculs. Nous sommes heureux de l'en remercier publiquement.

ce qui fait

$$\frac{345,5}{2} = 172^c,7 \text{ pour 180 grammes de glucose}$$

et

345$^c$,5 pour 101 grammes de salpêtre.

*b') L'acide carbonique forme du bicarbonate.*

L'équation de la réaction est :

$$2\,C^{12}H^{12}O^{12} + KO, AzO^5 + 8\,(KO, CO^2) = C^8H^7KO^4 + C^8H^8O^4, AzH^3 + 8\,(KO, C^2O^4) + 6\,HO$$

En s'appuyant sur le calcul précédent, on a :

| | |
|---|---|
| $2\,C^{12}H^{12}O^{12}$ diss. + KO, $AzO^5$ diss. = $C^8H^7CO^4$ diss. + $C^8H^8O^4$, $AzH^3$ diss. + 8 $CO^2$ gaz. + 6 HO . . . | 345$^c$,5 |
| 8 $CO^2$ gaz. + aq. = 8 $CO^2$ diss. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 22 ,4 |
| 8 $CO^2$ diss. + 8 (KO, $CO^2$) diss. = 8 (KO, $C^2O^4$) diss. . . . . . . . . . . | 8 ,0 |
| | 375,9 |

La chaleur dégagée est donc de :

$$\frac{375,9}{2} = 187^c,9 \text{ pour 180 grammes de glucose}$$

et

375,9 pour 101 grammes de salpêtre.

107. D'après ces calculs, la chaleur dégagée par la décomposition simultanée du glucose et du nitrate de potasse, en présence du carbonate de potasse, varie :

| | Moyenne. |
|---|---|
| Pour 180 grammes de glucose, entre 172$^c$,7 et 219$^c$,6 . . . | 186$^c$,1 |
| — 101 — de salpêtre, entre 254 ,5 et 375 ,9 . . . | 315 ,2 |

Ainsi, il paraît possible de réduire les nitrates par la fermentation butyrique, de façon qu'il reste encore de la chaleur disponible pour le *Bacillus amylobacter*.

108. Malheureusement, on ne connaît pas les exigences thermiques de ce ferment; mais, si l'on en juge par l'expérience suivante, elles doivent être assez considérables.

Le 10 novembre, utilisant les appareils des figures 12 et 13 qui nous avaient déjà servi pour mesurer approximativement l'élévation

de température due à la dénitrification, nous avons mis, avec du bouillon :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Dans le ballon B | glucose pur. . . . . . | 20 | grammes par litre. |
| | carbonate de chaux. . . | 20 | — |
| Dans le ballon B′ | amidon en empois . . . | 20 | — |
| | carbonate de chaux. . . | 20 | — |

Dans les ballons $B_1$ et $B_1'$, de l'eau, pour terme de comparaison.

Après avoir ensemencé B et B′ avec une forte dose de *Bacillus amylobacter* en pleine activité, nous avons entouré les ballons de laine et porté le tout à l'étuve.

Voici le tableau des températures observées :

| | Dans B. | Dans B′. | MOYENNE de $B_1$ et de $B_1'$ |
|---|---|---|---|
| Le 10 novembre, à 7 h. du soir. . . . . | 35°,0 | 35°,0 | 35°,15 |
| Le 11 — à 11 h. du matin. . . . | 33°,0 | 33°,0 | 33°,10 |
| Le 11 — à 4 h. 30 m. du soir. . | 32°,5 | 32°,7 | 32°,90 |
| Le 12 — à 5 h. du soir. . . . . | 32°,0 | 32°,3 | 32°,10 |
| Le 13 — à 9 h. du matin. . . . | 32°,0 | 32°,2 | 32°,15 |
| Le 14 — à 3 h. du soir . . . . | 32°,3 | 32°,7 | 32°,70 |
| Le 15 — à 3 h. du soir . . . . | 32°,8 | 33°,0 | 33°,10 |

La fermentation a produit beaucoup de mousse et de gaz ; tout le glucose et tout l'amidon ont disparu ; et, malgré cela, il n'y a pas eu la plus légère augmentation de température.

109. Si l'on cherche par le calcul la chaleur théorique dégagée par la formation d'acide butyrique[1] en présence du carbonate de chaux, suivant l'équation :

$$C^{12}H^{12}O^{12} + CaO, CO^2 = C^8H^7CaO^4 + 4H + 5CO^2 + HO$$

on a :

État initial . . . . . . $C^{12}, H^{12}, O^{12}$, Ca O diss., $CO^2$ gaz.
— final. . . . . . . $C^8H^7CaO^4$ diss., 4 H, 5 $CO^2$ gaz., HO.

1^er^ *Cycle.*

| | |
|---|---|
| $C^{12} + H^{12} + O^{12} = C^{12}H^{12}O^{12}$ diss. . . . . . . . . . . . . . | $267^c$ |
| Ca O diss. + $CO^2$ gaz. = Ca O, $CO^2$. . . . . . . . . . . . . . . . | 12 ,6 |
| $C^{12}H^{12}O^{12}$ diss. + Ca O, $CO^2$ = $C^8H^7CaO^4$ diss. + 4 H + 5 $CO^2$ gaz. + HO. | $x$ |
| | $279,6 + x$ |

1. La formation d'alcool butylique et d'alcool amylique dégage des quantités de chaleur peu différentes de celle-là.

2e *Cycle.*

| | |
|---|---|
| $C^8 + H^8 + O^4 = C^8H^8O^4$ diss. . . . . . . . . . . . | 156 |
| $C^8H^8O^4$ diss. + CaO diss. = $C^8H^7CaO^4$ diss. + HO. . | 15,1[1] |
| $4C + 8O = 4CO^2$ gaz. . . . . . . . . . . . . . . . | 188 |
| | 359,1 |

d'où :

$$x = 359,1 - 279,6 = 79^c,5$$

Ainsi, 180 grammes de glucose dégagent $79^c,5$ et 20 grammes en dégagent 8,8.

Par conséquent, s'il n'y avait aucune cause de déperdition, et si le phénomène était instantané, le thermomètre aurait accusé dans l'expérience précédente une température supérieure de 8° à 9° à celle des ballons témoins.

110. Le rapprochement de cette expérience et de celles de la page 287, où la réduction de 10 grammes seulement par litre de nitrate de potasse a produit, dans des conditions semblables, un excès de température de 5°45, montre qu'ici l'absence de chaleur *sensible* n'est due ni aux pertes par rayonnement ou par conductibilité, ni à la durée de la fermentation. Il est vraisemblable que le *Bacillus amylobacter* a absorbé, pour son propre développement, la presque totalité de la chaleur mise en liberté par la décomposition du glucose.

S'il en est ainsi, l'énergie disponible doit être d'autant plus faible que la fermentation est plus active, ou, ce qui est corrélatif, que le ferment se multiplie plus abondamment. Si donc on ajoute du salpêtre à la liqueur, la proportion de sel réduit sera, en quelque sorte, proportionnelle à la gêne du microbe et à la lenteur de la fermentation butyrique. Or, c'est précisément ce qui est arrivé dans nos expériences : avec le glucose, qui n'a donné que 80 centimètres cubes environ de gaz, nous avons eu $52^{mgr},5$ de nitrate de potasse décomposé, tandis qu'avec l'amidon, qui a dégagé $600^{cc},9$ de gaz, il n'y a eu que $23^{mgr},5$ de sel réduit. Bien plus, avec l'amidon, l'azote n'est apparu, en proportion bien dosable, qu'à la fin de la fermentation, lorsque le microbe était déjà vieux et usé.

1. Ce nombre a été également déterminé par M. Joannis.

111. Nous venons de montrer comment de l'hydrogène, réputé *à l'état naissant,* peut, dans certains cas, rester sans action sur une dissolution de nitrate alcalin ; les exigences de la vie du *Bacillus amylobacter* l'avaient dépouillé de son énergie disponible et transformé en hydrogène *ordinaire.*

Ce travail de réduction, que n'a pu faire notre ferment butyrique, pourra être exécuté par d'autres ferments, s'ils produisent assez de chaleur, d'abord pour les faire vivre, et ensuite pour restituer aux nitrates toute leur chaleur de formation.

112. Il résulte de tout ce qui précède, que la réduction des nitrates par le *Bacterium denitrificans* ne se présente ni comme une fermentation proprement dite, analogue à la fermentation alcoolique, ni comme une fermentation secondaire, rappelant l'hydrogénation du soufre dans les expériences de M. Miquel.

C'est en réalité un nouveau type de fermentations ne pouvant s'accomplir que par le concours simultané de plusieurs réactions chimiques. La dénitrification nous fournit, en outre, un exemple remarquable de combustions énergiques, produites à l'abri de l'oxygène de l'air.

---

## CHAPITRE IV

### Applications agricoles.

113. L'étude de la réduction des nitrates dans le sol n'a été abordée avec fruit que par M. Schlœsing, en 1873[1]. Dans deux expériences successives, le savant directeur de l'École d'application des Manufactures de l'État mit dans de grands flacons de la terre calcaire, riche en principes humiques, avec de l'azotate de potasse, à la dose de 7$^{gr}$,5 de sel pour 12 kilogrammes environ de terre.

---

1. *C. R.*, t. LXXVII, p. 353. 1873. — Consulter aussi, sur ces matières, le chapitre fort intéressant que M. Grandeau a consacré à l'origine et aux sources de l'azote des végétaux dans le premier volume de son Cours d'Agriculture de l'*École forestière : Nutrition de la plante,* 1879.

Il y eut d'abord diminution de pression dans les premiers jours, puis formation et dégagement d'un mélange d'azote et d'acide carbonique. En dosant, à la fin de l'expérience, le volume d'azote produit, il trouva que la terre avait perdu non seulement tout l'azote du nitrate, mais encore une partie de celui de la matière organique azotée. Tout le nitre avait disparu. Il y avait eu, en outre, production d'ammoniaque, mais en proportion non équivalente au nitrate réduit.

114. Ces résultats confirmaient une expérience précédente où M. Schlœsing, étudiant l'influence de la proportion d'oxygène sur la nitrification dans une atmosphère confinée, avait montré qu'à la limite, lorsque la proportion d'oxygène est nulle, le sol devient un milieu réducteur et que, loin de faire des nitrates, il décompose ceux qu'il renfermait déjà [1].

M. Schlœsing, dont l'attention n'avait pas encore été appelée sur le rôle des infiniment petits, attribuait la destruction de l'acide nitrique à l'action réductrice de la matière organique.

115. Depuis lors, en 1877 [2], MM. Schlœsing et Müntz ont établi que la nitrification n'est point un simple phénomène chimique, mais bien une oxydation corrélative de la présence, du développement et de la multiplication de certains microorganismes aérobies ; les recherches de M. R. Warrington ont confirmé, dès 1878 [3], celles de MM. Schlœsing et Müntz.

Il était naturel de supposer que la réaction inverse de la nitrification, savoir la réduction des nitrates dans le sol, déjà observée par M. Schlœsing, serait aussi un phénomène physiologique. C'est cette remarque qui a été le point de départ de nos recherches.

116. Notre première expérience sur la terre fut commencée le 10 juillet 1882. Du terreau de jardin, mélangé avec un poids égal de pierre ponce calcinée, fut mis dans deux allonges en verre *a* et *b*, parcourues de bas en haut par un courant d'azote, tandis que de l'eau d'égout nitratée à 100 milligrammes par litre et stérilisée tombait goutte à goutte à la surface du terreau.

1. *C. R.*, t. LXXVII, p. 203. 1873.
2. *C. R.*, t. LXXXIV, p. 301.
3. *Journal of the Chemical Society,* janvier 1878, p. 44.

Le tableau ci-dessous donne les volumes de bioxyde d'azote dégagé en présence du protochlorure de fer et de l'acide chlorhydrique, par le nitrate contenu dans l'eau sortant des allonges. Le dosage a été fait chaque fois sur 50 centimètres cubes de liquide préalablement concentré par la chaleur :

| | *a.* | *b.* |
|---|---|---|
| Le 11 | $1^{cc},2$ | $0^{cc},7$ |
| Le 13 | 0 ,9 | 1 ,1 |
| Le 16 | 0 ,7 | 0 ,7 |
| Le 17 | 0 ,6 | 0 ,7 |
| Le 18 | 0 ,3 | 0 ,7 |
| Le 19 | 0 ,4 | 0 ,4 |
| Le 20 | 0 ,2 | 0 ,2 |
| Le 24 | 0 ,0 | 0 ,0 |
| Le 26 | 0 ,1 | 0 ,3 |
| | $4^{cc},4$ | $4^{cc},8$ |

Correspondant à :

| | | |
|---|---|---|
| Nitrate de potasse | $20^{mgr}$ | $22^{mgr}$ |

Le volume total du liquide recueilli étant de 450 centimètres cubes, on aurait dû avoir 45 milligrammes de nitrate ; la perte est donc

| | |
|---|---|
| Pour *a* . . . . . . . de | $25^{mgr}$ |
| — *b* | 23 |
| Moyenne | $24^{mgr}$ |

Soit 53 p. 100.

Ce chiffre est un minimum, parce que le nitrate préexistant dans le terreau n'a pas été déterminé.

Cette expérience laisse à désirer, puisque le terreau n'a été ni stérilisé, ni ensemencé ; elle montre cependant que la terre végétale renferme normalement les germes de microbes dénitrificants, et que ceux-ci évoluent dès qu'on les confine dans une atmosphère privée d'oxygène libre[1]. On les voit facilement au microscope dans l'eau

1. Le 20 juillet, l'expérience prouvait déjà qu'il y avait eu dénitrification. Nous communiquâmes le fait, pour prendre date, à la Société des sciences physiques et naturelles de Bordeaux. (Séance du 20 juillet 1882, 2e série, t. V, p. XXXI.)

qui s'écoule des allonges et l'on constate qu'ils ont les formes les plus variées.

117. Le nombre des organismes contenus dans le sol étant considérable, et leurs propriétés très différentes, il était nécessaire d'opérer avec des microbes purs. Nous avons pris pour type le *B. denitrificans* α dont l'étude a été faite dans les chapitres précédents, et nous l'avons fait agir sur de la terre nitratée seule ou additionnée de matières hydrocarbonées.

118. Le 13 janvier, on remplit des ballons à long col de 500 centimètres cubes environ de capacité avec de la terre de jardin, calcaire, riche en humus et intimement mélangée avec du salpètre. On ferme ces ballons à la lampe ; on les stérilise et, après refroidissement, on ajoute de la semence prise dans une culture récente.

Les ballons *a* et *a′* renferment 1 gramme de salpètre par kilogramme de terre.

Les ballons *b* et *b′* renferment 10 grammes de salpêtre par kilogramme de terre.

*a′* et *b′* sont seuls ensemencés ; *a* et *b* doivent servir de termes de comparaison ; ils sont placés tous les quatre dans une étuve à 35°.

Le 23 janvier, on met fin à l'expérience et on dose les nitrates. On trouve :

| | | |
|---|---|---|
| Nitrate restant dans *a* . . . . . . . . | 1gr | par kilogr. |
| — — dans *a′* . . . . . . . . | 0 ,727 | — |
| — disparu dans *a′* . . . . . . . . | 0gr,273 | par kilogr. |
| Proportion de sel réduit dans *a′* . . . . | 27.3 p. 100. | |
| Nitrate restant dans *b* . . . . . . . . | 10gr | par kilogr. |
| — — dans *b′* . . . . . . . . | 8 ,571 | — |
| — disparu dans *b′* . . . . . . . . | 1 ,429 | par kilogr. |
| Proportion de sel réduit dans *b′* . . . . | 14.3 p. 100. | |

Ainsi, en dix jours seulement, le microbe a décomposé une quantité très importante de sel, bien qu'il ait trouvé de mauvaises conditions de développement dans une terre peu humide. Si l'on facilite sa multiplication en ajoutant à la terre, soit de l'eau distillée, soit de l'eau sucrée, la dénitrification est beaucoup plus rapide.

119. En même temps que les ballons précédents, on a ensemencé avec le même microbe les ballons suivants qui renfermaient :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $a_1$ de la terre nitratée | à 1 | gramme | par kilogramme | + eau distillée. |
| $a_2$ — | à 1 | — | — | + eau sucrée à 5 p. 100. |
| $b_1$ — | à 10 | — | — | + eau distillée. |
| $b_2$ — | à 10 | — | — | + eau sucrée 5 p. 100. |

Le 15, couronne de bulles à la surface des liquides dans les quatre ballons.

Par la fermentation, la terre a été soulevée dans tous ; avec l'eau sucrée, la mousse a été plus abondante qu'avec l'eau distillée.

Le 16, tout le nitrate est décomposé dans $a_2$ ;

Le 18, tout le nitrate a disparu dans $a_1$ ;

Le 23, on met fin à l'expérience et l'on dose les nitrates ; on obtient par kilogramme de terre :

| | NITRATE restant. | NITRATE disparu. | Dénitrification. |
|---|---|---|---|
| | — | — | — P. 100. |
| Dans $a_1$. . . . . . . . . . . . | Néant. | 1gr | 100.0 |
| — $a_2$. . . . . . . . . . . . | Néant. | 1 | 100.0 |
| — $b_1$. . . . . . . . . . . . | 6gr,992 | 3 ,008 | 30.1 |
| — $b_2$. . . . . . . . . . . . | Néant. | 10 | 100.0 |

120. Si l'on rapproche ces résultats de ceux trouvés avec la terre seule (118), on voit que, toutes choses égales d'ailleurs, la décomposition du salpêtre a été plus rapide avec l'eau distillée qu'avec la terre seule, plus rapide aussi avec l'eau sucrée qu'avec l'eau distillée. L'examen microscopique montre d'ailleurs que le développement du microbe, son abondance et sa jeunesse sont en relation directe avec l'énergie de la réduction.

Le dosage des nitrates dans la terre non ensemencée montre en outre que, pendant la durée de l'expérience, les matières organiques n'ont pas réduit le nitrate en l'absence des microbes.

121. Dans l'expérience que nous venons de résumer, nous n'avons pas fait l'analyse quantitative du gaz dégagé, nous avons simplement vérifié qu'il était composé d'acide carbonique et d'azote.

Pour avoir sa composition exacte, et une fermentation rapide, nous avons employé l'appareil décrit page 302 (fig. 17).

Le 9 juillet, on y a stérilisé :

| | |
|---|---|
| Terre de jardin, calcaire. . . . . . . . . | 100gr |
| Nitrate de potasse . . . . . . . . . . . . | 0 ,50 |
| Sucre de canne . . . . . . . . . . . . . | 5 |
| Eau distillée. . . . . . . . . . . . . . . | q. s. |

L'ensemencement a été fait avec du *B. denitrificans* $\alpha$, provenant d'une culture récente. La température du bain-marie était de 35°.

La fermentation a été terminée le 20.

Le gaz dégagé est formé de :

| | |
|---|---|
| Azote. . . . . . . . . . . . . . . . . . | 48cc,1 |
| Acide carbonique . . . . . . . . . . . . | 7 ,9 |
| | 56 ,0 |

correspondant à la composition centésimale :

| | |
|---|---|
| Azote. . . . . . . . . . . . . . . . . . | 85.84 |
| Acide carbonique . . . . . . . . . . . . | 14.16 |
| | 100.00 |

On a en outre :

| | |
|---|---|
| Nitrate disparu. . . . . . . . . . | 0gr,314, soit 62.8 p. 100. |
| Sucre — . . . . . . . . . . | Traces. |

Le nitrate décomposé aurait dû donner 44 centimètres cubes d'azote, au lieu de 48, volume trouvé.

Cette différence est du même ordre que celle que nous avons constatée dans l'étude de la dénitrification dans les bouillons de culture. Elle est en relation, comme on l'a vu, avec la formation d'une certaine quantité d'ammoniaque aux dépens de la matière organique azotée.

122. Le 30 juillet, on a répété l'expérience avec les mêmes poids relatifs de terre, de salpêtre et de sucre ; cinq jours après, le 4 août, il avait disparu 0gr,325 de salpêtre, soit 65 p. 100 du sel employé.

Ces deux essais, rapprochés de ceux des pages 302 et 303, montrent qu'en se plaçant dans les conditions des expériences de MM. Dehérain et Maquenne, notre *B. denitrificans* peut réaliser ce que n'a pu faire le *Bacillus amylobacter*.

123. Les conditions expérimentales réalisées ci-dessus ne permettent pas de faire circuler des gaz dans la terre végétale et de rechercher l'influence de l'oxygène sur le microbe dénitrifiant.

Pour résoudre ce problème, et nous rapprocher en même temps davantage des conditions dans lesquelles fonctionnerait ledit microbe, s'il existait seul dans un sol arable humide, nous avons disposé l'appareil de la figure 18 :

La partie essentielle de cet appareil, représentée en triple à gauche de la figure, comprend : un gros tube vertical A, contenant la terre, un réservoir R, où se trouve le liquide nitraté, le récipient B, destiné à recueillir les liquides s'écoulant du tube A.

Le tube A s'engage à la partie inférieure dans un excellent bouchon de liège qui ferme l'orifice du récipient B ; il porte à sa partie supérieure un tube recourbé vers le bas et effilé en pointe *a*, et un tube *b*, muni d'une bourre de coton et relié par un tube de caoutchouc à un petit barboteur D. Le réservoir R, à robinet *r*, est un cylindre divisé en parties d'égales capacités, comme celui de la figure 16 ; il est fermé en haut par un bouchon conique à recouvrement garni de coton. Son extrémité inférieure pénètre dans la partie supérieure de A ; un tube de caoutchouc rend la fermeture hermétique. Le récipient B est fait avec un ballon dont le fond est soudé à un tube en S effilé *o* et dont le col porte une tubulure latérale $b_1$, munie aussi d'une bourre de coton et reliée par un tube de caoutchouc à un tube barboteur E contenant de l'eau distillée pour saturer les gaz d'humidité. Le tube plongeant du barboteur est réuni, par l'intermédiaire du robinet $r_1$, à une canalisation de gaz.

Dans la figure, les récipients A et A′ communiquent avec un appareil à acide carbonique, A″ avec une trompe à air.

Ces trois appareils semblables, placés parallèlement sur un support en bois S, sont déposés à l'intérieur d'une grande étuve en bois dont la double paroi est représentée en C.

L'acide carbonique est produit dans un grand flacon bitubulé F, par la réaction de l'acide chlorhydrique étendu sur le marbre. Pour que le courant soit lent et puisse durer plusieurs jours, on fait tomber goutte à goutte l'acide chlorhydrique du flacon de Mariotte H dans le tube à entonnoir G. Le gaz dégagé passe dans un barboteur

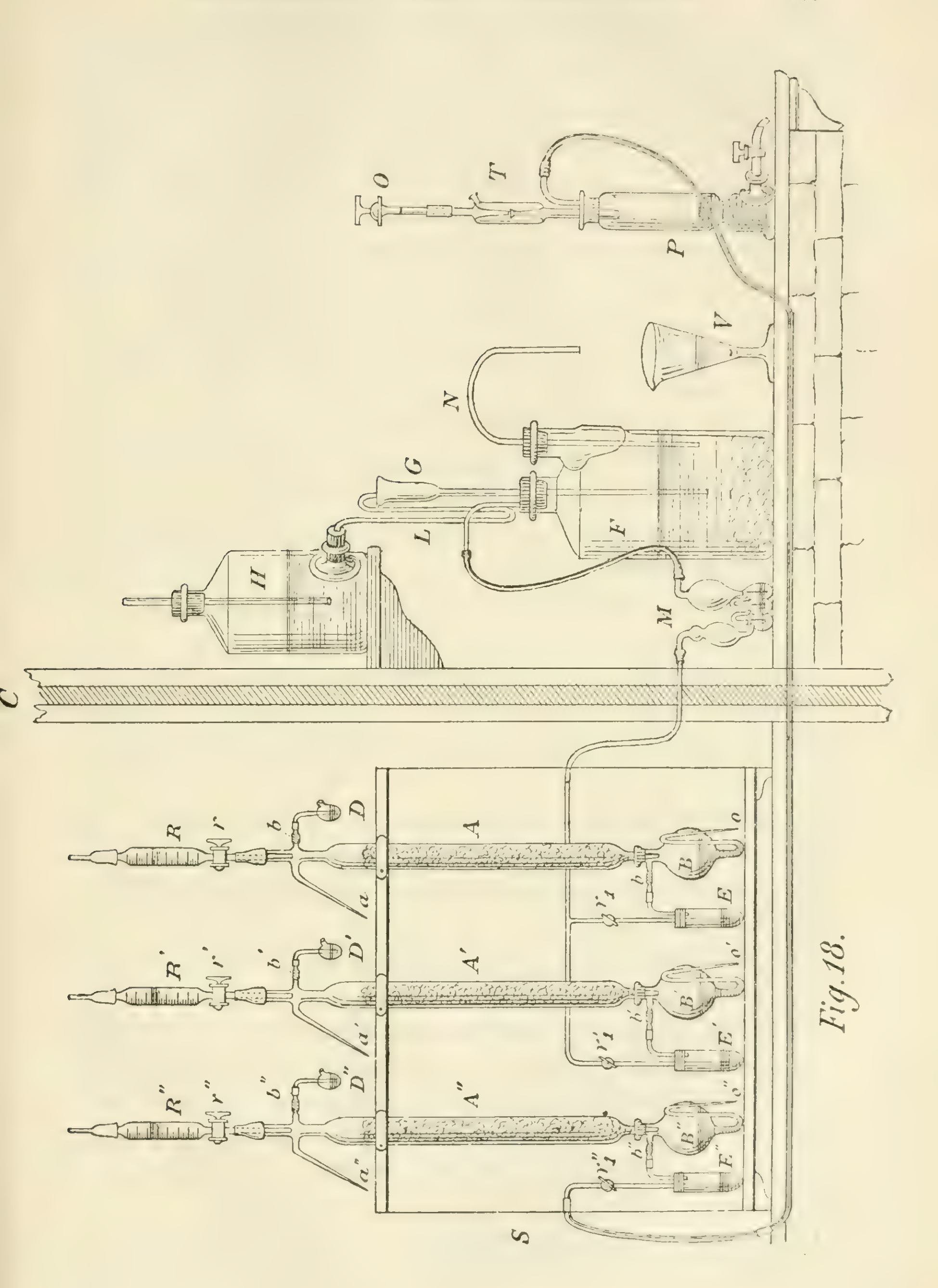



Fig. 18.

M avant de se rendre dans les appareils A et A'. Malgré la lenteur de la réaction, le flacon F finit par se remplir d'une solution concentrée de chlorure de calcium. Pour l'enlever, on ferme un instant les robinets $r_1$ et $r_1'$ ; le gaz carbonique comprime le chlorure de calcium et le chasse par le siphon N dans un verre V ; on rétablit l'état primitif en rouvrant les robinets $r_1$ et $r_1'$.

Le courant d'air est fourni par une trompe à vide T transformée en petite soufflerie à l'aide d'une éprouvette P. L'eau venant du robinet O s'écoule par la tubulure inférieure de l'éprouvette.

Le flacon producteur d'acide carbonique et la trompe soufflante sont extérieurs à l'étuve.

124. Cela posé, il est facile de voir comment circulent les gaz dans nos appareils. L'acide carbonique arrive, par exemple, dans le barboteur E, où l'écoulement est réglé à l'aide du robinet $r_1$ ; puis il pénètre dans le réservoir B, dont le tube *o* est fermé à la lampe ; s'élève dans la colonne A à travers la terre végétale et s'échappe à l'extérieur par le barboteur D, la pointe *a* étant aussi fermée à la lampe.

Si le robinet *r* est ouvert, le liquide de R s'écoule et tombe à la surface de la terre ; en descendant, il imprègne celle-ci, se divise à l'infini, reçoit l'action du courant ascendant de gaz et arrive enfin en B, où il s'accumule.

Pour extraire ce liquide à un moment donné sans démonter l'appareil, on ferme le robinet *r*, on brise la pointe *o* et l'on bouche avec le doigt l'orifice du barboteur D ; le gaz continuant à arriver s'accumule en B et force le liquide à sortir par *o*; on le recueille dans un verre. On remet les choses dans l'état primitif en retirant le doigt et scellant de nouveau à la lampe l'effilure *o*.

125. Toutes ces manipulations n'ont d'intérêt que si on peut les appliquer à l'étude d'un être vivant unique et maintenu pur pendant toute la durée de l'expérience. Il faut pour cela que l'appareil puisse être stérilisé dans toutes ses parties, que la semence pure puisse y être introduite, que le gaz soit purifié avant d'agir, et enfin que le liquide nitraté ne soit jamais souillé de germes étrangers.

Ces conditions sont toutes réalisables.

Et d'abord, l'ensemble A, B, R peut être stérilisé en entier dans

un autoclave[1], à la condition de fermer les orifices *o* et *a*. Pendant le refroidissement, l'air extérieur ne peut pénétrer que par les tubulures *b*, $b_1$ et par le bouchon conique de R; partout il se purifie sur du coton calciné. Si les dimensions de cet appareil sont trop grandes pour l'autoclave dont on dispose, on peut le démonter en ses trois parties, en envelopper les extrémités ouvertes avec une épaisse couche de ouate, et les stériliser isolément. Il faudra seulement prendre plus de précautions pour les relier ensuite les unes aux autres. Il faut remarquer que la stérilisation de la terre est une opération difficile qui exige l'action prolongée d'une température élevée.

Quand l'appareil stérilisé est fixé sur son support, on le réunit par un tube de caoutchouc au barboteur E. Pour l'ensemencement, on ferme $r_1$ et on introduit la tubulure *a*, ouverte avec les précautions habituelles, dans le vase contenant la semence ; puis on aspire doucement par l'orifice du barboteur D, au moyen d'un caoutchouc, si cela est nécessaire. On retire ensuite le vase ; on flambe la tubulure *a* et on la scelle à la lampe.

Quant au liquide nitraté, on le prélève avec une pipette flambée dans le ballon où il a été stérilisé, et on le transporte en R, avec les précautions connues.

Enfin, le gaz carbonique et l'air sont purifiés, avant leur entrée dans l'appareil, par les bourres de coton $b_1$, $b_1'$ et $b_1''$.

En résumé, le dispositif que nous venons de décrire avec détail est d'une manipulation sûre et d'un emploi avantageux pour l'étude physiologique des microbes aérobies au anaérobies, toutes les fois qu'il y a intérêt à multiplier les surfaces de contact d'un liquide de culture et d'un gaz déterminé. Nous l'avons appliqué à la dénitrification et à la nitrification. Nous ne parlerons ici que des phénomènes de réduction obtenus avec le *B. denitrificans* α.

126. Voici comment nous procédons : les tubes A, A′, A″ reçoivent chacun 70 grammes d'une bonne terre de jardin, calcaire. La terre, préalablement séchée à l'air libre, est tamisée et l'on ne retient que les grains ayant de 2 à 3 millimètres environ de diamètre. Ces

1. La stérilisation dans un poêle à gaz est à peu près impossible quand A est garni de terre.

dimensions sont convenables pour que liquides et gaz circulant en sens contraire se trouvent en contact sur une grande surface, et pour que la terre ne se tasse pas par l'imbibition. On empêche tout entraînement de matières solides dans les ballons inférieurs en faisant reposer la terre sur une couche de gros grains de carbonate de chaux et ceux-ci sur des fragments de verre.

Après stérilisation de tout l'appareil, on met dans les réservoirs supérieurs R, R′, R″ de l'eau distillée tenant en dissolution 1 gramme par litre de nitrate de potasse, et dans ceux des ballons B, B′, B″ qui doivent recevoir des liquides fermentés, un volume connu d'une solution étendue de sulfate de cuivre ou de tout autre antiseptique. Cette précaution est indispensable pour empêcher que le nitrate non réduit par la terre ne le soit ultérieurement par les organismes entraînés avec le liquide dans les ballons.

Si l'un des appareils n'est pas ensemencé, on ne met pas d'antiseptique dans le ballon correspondant ; l'absence de microbes dans le liquide écoulé est la preuve que la stérilisation avait été bien faite.

127. Le 24 juin, tout étant préparé comme on vient de le dire, on ensemence A et A″ avec du *B. denitrificans* α jeune, et l'on fait circuler de l'acide carbonique dans A et A′, de l'air dans A″ ; le tube A′ non ensemencé doit servir de terme de comparaison. La température de l'étuve est de 35°.

A partir de l'ensemencement, on fait écouler dans chaque appareil :

| | | |
|---|---|---|
| Le 24 juin. . . . . . . . . . . . . . | 10cc | de liquide nitraté. |
| Le 25 —. . . . . . . . . . . . . . . | 5 | — |
| Du 25 juin au 8 juillet : 2cc,5 par jour, soit | 32 ,5 | — |
| Total. . . . . . | 47cc,5 | |

Le 8 juillet, on met fin à l'expérience. Les poids de nitrate trouvé dans les liquides écoulés sont :

| | |
|---|---|
| Dans A. . . . . . . . . . . . . . . . | 46mgr,8 |
| — A′. . . . . . . . . . . . . . . . . | 79 ,2 |
| — A″. . . . . . . . . . . . . . . . . | 81 ,5 |

On voit tout de suite qu'il y a eu perte de nitrate dans A, et que la présence de l'oxygène n'a point déterminé une nitrification sensi-

ble dans A''. En prenant la moyenne des nombres obtenus avec A' et A'', on aura le poids de sel entraîné en dissolution, celui auquel il faut comparer 46$^{mm}$,8 pour connaître le poids exact de nitrate réduit, ce qui donne :

| | |
|---|---|
| Moyenne de A' et de A'' . . . . . . . . . | 80$^{mgr}$,3 |
| Nitrate de A . . . . . . . . . . . . . . . | 46 ,8 |
| Nitrate réduit. . . . . . . | 33$^{mgr}$,5 |

Soit 41 p. 100 du nitrate total, et 480 milligrammes environ par kilogramme de terre.

Dans une autre expérience, au bout de quatre jours, du 17 au 20 juin, la proportion de nitrate décomposé dans la terre a été de 19 p. 100.

128. Il résulte de ces expériences et de celles de la page 313 que le *B. denitrificans* α réduit les nitrates alcalins dans une terre végétale riche en humus, sans qu'il soit nécessaire de lui ajouter des substances étrangères telles que du sucre ou du glucose. Les matières organiques de la terre suffisent donc à la nutrition du microbe et leur carbone peut être brûlé par l'oxygène de l'acide nitrique.

129. Que ce microbe, ou le *B. denitrificans* β, ou tout autre semblable, se soit développé dans les expériences de M. Schlœsing sur la réduction des nitrates dans le sol, et l'on comprendra que la terre ait perdu, comme dans nos bouillons de culture, non seulement tout l'azote de son nitrate, mais encore une partie de celui de ses matières organiques azotées.

130. On comprendra également que l'ammoniaque formée ne fût pas en proportion équivalente au nitrate réduit, puisque nos expériences nous ont donné :

Pour le *B. denitrificans* α (page 271).

| | |
|---|---|
| Ammoniaque correspondant à 1 gramme de nitre. . . | 168$^{mgr}$,3 |
| — formée pendant la réduction. . . . . . | 45 ,1 |
| Proportion d'ammoniaque formée . . . . . . . . . . | 26.8 p. 100 |

Et pour le *B. denitrificans* β (page 275) :

| | |
|---|---|
| Ammoniaque correspondant à 1$^{gr}$,285 de nitrate . . . | 216$^{mgr}$,2 |
| — formée pendant la réaction . . . . . . | 25 ,4 |
| Proportion d'ammoniaque formée. . . . . . . . . . | 11.7 p. 100. |

Or, M. Schlœsing a trouvé dans ses deux essais :

| | I. | II. |
|---|---|---|
| Ammoniaque correspondant au nitrate employé. | 1528$^{mgr}$ | 1262$^{mgr}$,0 |
| — formée pendant la réaction. . . . | 101 | 192 ,7 |
| Proportion d'ammoniaque formée. . . . . . . | 6.6 p. 100. | 15,3 p. 100. |

L'un de nos nombres est précisément compris entre ceux de M. Schlœsing.

131. La proportion d'ammoniaque formée pendant la dénitrification dépend donc de la nature du microbe et sans nul doute aussi de la composition des matières azotées du sol.

Il est probable que l'origine de cette ammoniaque varie avec les propriétés physiologiques des organismes réducteurs qui vivent dans la terre végétale, et que son azote peut être emprunté soit à l'acide nitrique, soit aux substances organiques azotées. Dans le premier cas, les nitrates ne sont pas détruits en pure perte et sans aucune compensation ; dans le second, l'azote organique devient soluble et plus aisément assimilable par les racines des végétaux.

132. La décomposition des nitrates employés comme engrais, ou formés par nitrification spontanée, n'est pas à redouter dans une terre en bonne culture, labourée souvent, meuble et bien aérée, car l'oxygène y pénètre assez profondément pour empêcher les microbes anaérobies de se développer et d'exercer leur fâcheuse influence réductrice.

Mais si la terre est recouverte d'eau ou simplement imprégnée d'humidité, l'air n'y circule plus librement, et les phénomènes de réduction ne tardent pas à apparaître, surtout à la température de l'été. La nature du sol, sa composition chimique, les germes qu'il renferme, influent naturellement sur la rapidité et sur la nature de la réaction.

133. Dans ces conditions, la réduction de l'acide nitrique s'arrête souvent à son premier degré, c'est-à-dire à la formation d'acide nitreux ; aussi trouve-t-on presque toujours des nitrites dans les terres humides.

Par les temps secs, la proportion d'acide nitreux va en diminuant à mesure qu'on se rapproche de la surface du terrain ; mais ce

n'est point, comme le pense le colonel Chabrier, parce que « les « nitrites en dissolution dans l'humidité terrestre sont attirés à la « surface du sol par la capillarité et qu'ils s'y convertissent, au moins « partiellement, en nitrates[1] » ; c'est simplement parce que la dessiccation facilite l'accès de l'oxygène dans des couches de plus en plus profondes où les formes aérobies peuvent seules vivre et déterminer des phénomènes d'oxydation. M. Chabrier en donne lui-même la preuve : « Les nitrites, dit-il, au contact de la terre, ne subsistent « qu'à la faveur d'un grand excès d'eau », c'est-à-dire dans les points où l'air ne peut arriver.

134. En résumé, l'étude que nous venons de faire, bien qu'elle ne s'applique qu'à quelques microbes particuliers, démontre que la réduction des nitrates dans les sols est un phénomène corrélatif de la présence, du développement et de la multiplication d'organismes microscopiques pouvant vivre sans oxygène libre.

La connaissance des faits contenus dans ce mémoire devrait toujours guider l'agriculteur dans l'emploi des nitrates comme matières fertilisantes du sol. En se rappelant que ces engrais se décomposent dans les milieux non aérés, il éviterait de les appliquer sur des terres trop compactes ou trop humides.

## Résumé et conclusions.

1° Nous avons démontré que la destruction des nitrates, dans les liquides de culture et dans la terre végétale, quel que soit le degré de réduction, n'est point un simple phénomène chimique, mais qu'elle est corrélative de la présence, du développement et de la multiplication des infiniment petits. Elle exige des milieux contenant des matières organiques.

2° Indépendamment des microbes qui ne font que transformer les nitrates en nitrites, nous avons isolé à l'état de pureté deux Bactéries dénitrifiantes (*Bacterium denitrificans* $\alpha$ et $\beta$) et étudié spécialement les propriétés de l'une d'elles, en insistant sur son aspect, son

1. *Annales de chimie et de physique*, 5e série, t. XXIII, p. 161. 1871.

mode de développement, les milieux qui lui conviennent, et sur les circonstances qui favorisent son activité et ses propriétés réductrices.

3° Nos deux microbes se multiplient avec la même facilité dans les bouillons de viande et dans le liquide artificiel suivant :

| | |
|---|---|
| Nitrate de potasse | 10gr,00 |
| Acide citrique | 7 00 |
| Asparagine | 5 00 |
| Phosphate de potasse | 5 00 |
| Sulfate de magnésie | 5 00 |
| Chlorure de calcium cristallisé | 0 50 |
| Sulfate de protoxyde de fer | 0 05 |
| Sulfate d'alumine | 0 02 |
| Silicate de soude | 0 02 |
| Ammoniaque, pour neutraliser | q. s. |
| Eau pour compléter le volume à | 1000cc |

4° Les vapeurs de mercure nuisent au développement des *Bacterium denitrificans,* tandis que l'acide salicylique et l'acide phénique sont sans action antiseptique sur ces deux organismes.

5° Nous avons montré que, suivant la composition du milieu nutritif, l'azote de l'acide nitrique se dégage seul ou mélangé à du protoxyde d'azote. La température, la concentration des liqueurs, la quantité de semence font varier la proportion de protoxyde d'azote.

6° L'oxygène de l'acide nitrique, qui ne reste pas combiné avec l'azote dans le protoxyde, brûle le carbone de la matière organique, et donne de l'acide carbonique qui se dissout en grande partie à l'état de bicarbonate de potasse.

7° Si la matière organique est azotée, comme dans le bouillon de viande, il y a formation d'ammoniaque et dégagement d'un léger excès de gaz azote qui s'ajoute à celui du nitrate.

8° Les résultats obtenus dans les liquides de culture ont été étendus à la terre végétale. Cette application rend compte, non seulement des phénomènes de dénitrification constatés dans le sol, mais encore de toutes les particularités signalées par M. Schlœsing.

9° En cherchant à nous rendre compte du mécanisme de la dénitrification par les *B. denitrificans,* nous avons été amenés à étudier l'action de l'hydrogène naissant sur les nitrates. Nous avons montré que le *Bacillus amylobacter* peut dégager de grandes quantités

d'hydrogène dans la fermentation butyrique du sucre, du glucose ou de l'amidon, et néanmoins ne réduire que de très petites quantités de nitrate de potasse.

10° Nous pensons que la différence d'énergie réductrice de ces divers organismes est due à la quantité totale de chaleur mise à leur disposition par l'ensemble des réactions chimiques, et surtout à la différence de leurs exigences thermiques, lorsqu'ils jouent le rôle de ferments.

11° La décomposition des nitrates par le *B. denitrificans* n'est ni une fermentation proprement dite, ni un phénomène secondaire, c'est une combustion des matières organiques par l'oxygène nitrique, produite avec dégagement d'une grande quantité de chaleur.

C'est le type de fermentations qui ne peuvent s'accomplir que par le concours simultané de plusieurs réactions chimiques.

---

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES

SUR

# L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT

PAR L. GRANDEAU ET A. LECLERC

---

## DEUXIÈME PARTIE[1]

Dans la première partie de notre travail, nous avons rendu compte des expériences entreprises au laboratoire de la Compagnie générale des voitures sur trois chevaux soumis au repos, à la marche ou au travail au pas, le travail étant effectué et mesuré à l'aide du manège dynamométrique. Nous allons résumer, dans cette deuxième partie, les résultats expérimentaux obtenus, avec ces mêmes chevaux, dans les conditions suivantes :

1° En mars, avril et mai 1881, mois pendant lesquels chaque cheval passe successivement au repos, à la marche et au travail *au trot* avec le manège.

---

1. Voir les *Annales*, t. II, p. 325 et suiv. 1884. Cette deuxième partie résume le Rapport adressé par MM. Grandeau et Leclerc au Conseil d'administration de la Compagnie générale des voitures. In-4° de 200 pages, accompagné de 12 planches in-folio, Berger-Levrault et C^ie^.

Nous renverrons les lecteurs des *Annales* au mémoire original pour les tableaux numériques, courbes et diagrammes relatifs au poids des chevaux, quantité d'eau consommée et éliminée, et aux tableaux numériques indiquant, jour par jour, le travail effectué.

2° En juin 1881, chaque cheval étant soumis tous les jours au travail au trot avec le manège.

3° En août et septembre 1881, les trois chevaux travaillant simultanément, attelés à une même voiture, faisant régulièrement chaque jour le service de camionnage.

4° Du 1er décembre 1881 au 12 août 1882, période durant laquelle les trois chevaux passent successivement au repos, au travail avec une voiture de place (coupé modèle n° 4), dans des conditions identiques à celles de tous les chevaux en service de la Compagnie générale des voitures.

Si l'on se reporte au plan général des expériences exposé dans la première partie (voir les *Annales*, t. II, p. 373 et suiv.), on remarquera que les §§ 1 et 2 ci-dessus correspondent à la 2e série, le § 3 à la 3e série et le § 4 à la 4e série des expériences faisant partie du premier des deux groupes dans lesquels nous avons divisé les recherches que le Conseil nous avait donné mission de poursuivre. Nous commençons par indiquer, dans un chapitre spécial à chaque série, les résultats numériques obtenus dans ces essais et les modifications qui ont été introduites dans l'ordre ou dans le plan des expériences. Sous la rubrique : *Remarques générales*, nous donnons une vue d'ensemble sur la marche des expériences et sur les causes extérieures, indépendantes de notre volonté, qui sont venues momentanément jeter quelques perturbations dans nos recherches. La dernière partie de cette étude sera consacrée à la discussion de l'ensemble des expériences poursuivies par nous, de 1880 à 1882, et à l'examen critique des résultats obtenus par les divers expérimentateurs qui nous ont précédés.

En terminant, nous résumons les conclusions pratiques qui découlent de nos expériences, en ce qui concerne l'alimentation des chevaux de service envisagée dans ses rapports avec la production du travail mécanique.

## I. Deuxième série. — Travail au trot.

### Expériences faites en mars, avril, mai et juin 1881.

Ces expériences ont été faites avec les trois chevaux dont nous avons donné le signalement dans le précédent rapport. L'ordre suivi n'a pas varié : elles sont donc la reproduction exacte des expériences de la première série, avec cette seule différence que les chevaux travaillaient au trot, au lieu de travailler au pas. Quant à la durée du travail, la vitesse du cheval au trot étant sensiblement le double de sa vitesse au pas, nous n'avons donné au travail au trot qu'une durée de 1 heure le matin et de 1 heure le soir, au lieu de 2 heures matin et soir, pour le travail au pas.

Cela posé, les trois chevaux ont passé successivement par les trois conditions de repos ou de marche et de travail au trot suivantes :

| | | |
|---|---|---|
| En mars : | Cheval n° 1, | au repos avec la ration d'entretien. |
| | Cheval n° 2, | au travail au trot avec la ration de travail. |
| | Cheval n° 3, | à la marche au trot avec la ration de transport. |
| En avril : | Cheval n° 1, | à la marche au trot avec la ration de transport. |
| | Cheval n° 2, | au repos avec la ration d'entretien. |
| | Cheval n° 3, | au travail au trot avec la ration de travail. |
| En mai : | Cheval n° 1, | au travail au trot avec la ration de travail. |
| | Cheval n° 2, | à la marche au trot avec la ration de transport. |
| | Cheval n° 3, | au repos avec la ration d'entretien. |
| En juin : | Cheval n° 1, Cheval n° 2, Cheval n° 3, | au travail au trot avec la ration de travail. |

#### COMPOSITION CENTÉSIMALE DES FOURRAGES.

Les fourrages consommés dans la 2e série d'expériences présentaient la composition suivante :

TABLEAUX.

1° COMPOSITION CENTÉSIMALE IMMÉDIATE DES FOURRAGES.

| ANALYSE N° | FOURRAGE. | CONSOMMÉ. | EAU. | CENDRES privées de $CO^2$. | GLUCOSE. | CELLULOSE. | AMIDON. | GRAISSE. | MATIÈRE azotée. | INDÉTERMINÉES. | TOTAL. | AZOTE p. 100. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | Féverole. | Du 6 mars au 9 juillet inclus. . . . | 11.35 | 3.40 | 2.23 | 5.55 | 44.13 | 1.50 | 29.95 | 1.89 | 100.00 | 4.793 |
| 12 | Avoine. | Du 6 mars au 9 juillet inclus. . . . | 15.03 | 3.57 | 1.04 | 8.24 | 46.95 | 3.86 | 8.62 | 12.69 | 100.00 | 1.380 |
| 13 | Tourteau. | Du 6 mars au 9 juillet inclus. . . . | 13.225 | 2.62 | 0.48 | 4.20 | 53.46 | 7.55 | 17.24 | 1.225 | 100.00 | 2.759 |
| 14 | Maïs. | Du 6 mars au 9 juillet inclus. . . . | 14.35 | 1.74 | 1.59 | 1.80 | 64.15 | 1.80 | 9.39 | 5.18 | 100.00 | 1.503 |
| 20 | Foin. | Du 6 mars au 7 mai inclus. . . . . | 15.60 | 7.46 | 0.84 | 20.90 | 18.27 | 1.18 | 7.88 | 27.87 | 100.00 | 1.262 |
| 21 | Paille. | Du 6 mars au 7 mai inclus. . . . . | 16.88 | 3.84 | 0.47 | 25.95 | 19.17 | 1.50 | 2.88 | 29.31 | 100.00 | 0.460 |
| 23 | Foin. | Du 8 mai au 9 juillet inclus. . . . | 12.60 | 7.97 | 0.82 | 21.45 | 20.26 | 1.27 | 8.43 | 27.20 | 100.00 | 1.348 |
| 24 | Paille. | Du 8 mai au 9 juillet inclus. . . . | 11.24 | 5.01 | 0.48 | 25.79 | 23.81 | 1.86 | 3.56 | 28.22 | 100.00 | 0.570 |

2° COMPOSITION CENTÉSIMALE ÉLÉMENTAIRE DE LA SUBSTANCE ORGANIQUE DES FOURRAGES.

| ÉLÉMENTS. | FÉVEROLE. Analyse n° 7. | AVOINE. Analyse n° 12. | TOURTEAU. Analyse n° 13. | MAÏS. Analyse n° 14. | FOIN. Analyse n° 20. | PAILLE. Analyse n° 21. | FOIN. Analyse n° 23. | PAILLE. Analyse n° 24. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Carbone. . . . | 46.87 | 48.07 | 48.42 | 46.09 | 49.16 | 47.40 | 49.10 | 48.99 |
| Hydrogène. . . | 6.19 | 6.19 | 6.14 | 5.79 | 5.54 | 6.47 | 6.17 | 6.08 |
| Azote. . . . . | 5.62 | 1.70 | 3.28 | 1.79 | 1.78 | 0.58 | 1.70 | 0.68 |
| Oxygène. . . . | 41.32 | 44.04 | 42.16 | 46.33 | 45.52 | 45.55 | 43.03 | 44.25 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

COMPOSITION IMMÉDIATE ET ÉLÉMENTAIRE DES RATIONS.

De la composition centésimale immédiate et élémentaire des fourrages, on déduit la composition immédiate et élémentaire des rations consommées dans les expériences de la deuxième série.

TABLEAUX.

COMPOSITION IMMÉDIATE DE LA RATION JOURNALIÈRE D'ENTRETIEN.

| FOURRAGES. | EAU. | SUBSTANCE sèche. | CENDRES. | SUBSTANCE organique. | GLUCOSE. | CELLULOSE. | AMIDON. | GRAISSE. | MATIÈRE azotée. | INDÉTERMINÉS. | AZOTE. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| **Du 6 mars au 7 mai 1881 inclus.** | | | | | | | | | | | |
| 1,044 gr. Foin contenant. | 162.86 | 881.14 | 77.88 | 803.26 | 8.77 | 218.19 | 190.74 | 12.32 | 82.26 | 290.98 | 13.18 |
| 564 gr. Paille. | 95.20 | 468.80 | 21.66 | 447.14 | 2.65 | 146.36 | 108.12 | 8.46 | 16.24 | 165.31 | 2.59 |
| 1,968 gr. Avoine. | 295.79 | 1672.21 | 70.25 | 1601.96 | 20.46 | 162.16 | 923.98 | 75.96 | 169.64 | 249.76 | 27.16 |
| 420 gr. Féverole. | 47.67 | 372.33 | 14.28 | 358.05 | 9.37 | 23.31 | 185.35 | 6.30 | 125.79 | 7.93 | 20.13 |
| 1,452 gr. Maïs. | 208.36 | 1243.64 | 25.26 | 1218.38 | 23.09 | 26.13 | 931.46 | 26.13 | 136.34 | 75.23 | 21.82 |
| 288 gr. Tourteau. | 38.09 | 249.91 | 7.55 | 242.36 | 1.38 | 12.09 | 153.96 | 21.74 | 49.65 | 3.54 | 7.95 |
| 5,736 gr. | 847.97 | 4888.03 | 216.88 | 4671.15 | 65.72 | 588.24 | 2493.61 | 150.91 | 579.92 | 792.75 | 92.83 |
| **Du 8 mai au 7 juin 1881 inclus.** | | | | | | | | | | | |
| 1,044 gr. Foin contenant. | 131.54 | 912.46 | 83.20 | 829.26 | 8.56 | 223.94 | 211.51 | 13.26 | 88.01 | 283.98 | 14.07 |
| 564 gr. Paille. | 63.39 | 500.61 | 28.26 | 472.35 | 2.71 | 145.45 | 134.46 | 10.49 | 20.08 | 159.16 | 3.21 |
| 1,968 gr. Avoine. 420 gr. Féverole. 1,452 gr. Maïs. 288 gr. Tourteau. | 589.91 | 3538.09 | 117.34 | 3420.75 | 54.30 | 223.69 | 2194.75 | 130.13 | 481.42 | 336.46 | 77.06 |
| 5,736 gr. | 784.84 | 4951.16 | 228.80 | 4722.36 | 65.57 | 593.08 | 2540.72 | 153.88 | 589.51 | 779.60 | 94.34 |

COMPOSITION IMMÉDIATE DE LA RATION JOURNALIÈRE DE TRANSPORT.

| FOURRAGES. | EAU. | SUBSTANCE sèche. | CENDRES. | SUBSTANCE organique. | GLUCOSE. | CELLULOSE. | AMIDON. | GRAISSE. | MATIÈRE azotée. | INDÉTERMINÉS. | AZOTE. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| **Du 6 mars au 7 mai 1881 inclus.** | | | | | | | | | | | |
| 1,148 gr. Foin contenant. | 179.09 | 968.91 | 85.64 | 883.27 | 9.64 | 239.93 | 209.74 | 13.54 | 90.46 | 319.96 | 14.48 |
| 620 gr. Paille. | 104.66 | 515.34 | 23.81 | 491.53 | 2.91 | 160.89 | 118.85 | 9.30 | 17.86 | 181.72 | 2.86 |
| 2.164 gr. Avoine. | 325.25 | 1838.75 | 77.25 | 1761.50 | 22.50 | 178.31 | 1016.00 | 83.53 | 186.54 | 274.62 | 29.86 |
| 464 gr. Féverole. | 52.66 | 411.34 | 15.77 | 395.57 | 10.35 | 25.75 | 204.76 | 6.96 | 138.97 | 8.78 | 22.24 |
| 1,600 gr. Maïs. | 229.60 | 1370.40 | 27.84 | 1342.56 | 25.44 | 28.80 | 1026.40 | 28.80 | 150.24 | 82.88 | 24.05 |
| 316 gr. Tourteau. | 41.79 | 274.21 | 8.28 | 265.93 | 1.52 | 13.27 | 168.93 | 23.86 | 54.48 | 3.87 | 8.72 |
| 6,312 gr. | 933.05 | 5378.95 | 238.59 | 5140.36 | 72.36 | 646.95 | 2741.68 | 165.99 | 638.55 | 871.83 | 102.21 |
| **Du 8 mai au 7 juin 1881 inclus.** | | | | | | | | | | | |
| 1,148 gr. Foin contenant. | 144.65 | 1003.35 | 91.49 | 911.86 | 9.41 | 246.24 | 232.58 | 14.58 | 96.77 | 312.28 | 15.48 |
| 620 gr. Paille. | 69.69 | 550.31 | 31.06 | 519.25 | 2.97 | 159.90 | 147.81 | 11.53 | 22.07 | 174.97 | 3.54 |
| 2,164 gr. Avoine. 464 gr. Féverole. 1,600 gr. Maïs. 316 gr. Tourteau. | 649.30 | 3891.70 | 129.14 | 3765.56 | 59.81 | 246.13 | 2416.09 | 143.15 | 530.23 | 370.15 | 84.87 |
| 6,312 gr. | 863.64 | 5148.36 | 251.69 | 5196.67 | 72.19 | 652.27 | 2796.48 | 169.26 | 649.07 | 857.40 | 103.89 |

COMPOSITION IMMÉDIATE DE LA RATION JOURNALIÈRE DE TRAVAIL.

| FOURRAGES. | EAU. | SUBSTANCE sèche. | CENDRES. | SUBSTANCE organique. | GLUCOSE. | CELLULOSE. | AMIDON. | GRAISSE. | MATIÈRE azotée. | INDÉTER-MINÉS. | AZOTE. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| **Du 6 mars au 7 mai 1881 inclus.** | | | | | | | | | | | |
| 1.568 gr. Foin contenant . . . . . . | 244.61 | 1323.39 | 116.97 | 1206.42 | 13.17 | 327.71 | 286.47 | 18.50 | 123.56 | 437.01 | 19.78 |
| 848 gr. Paille . . . . . . . . . . | 143.14 | 704.86 | 32.56 | 672.30 | 3.98 | 220.05 | 162.56 | 12.72 | 21.42 | 218.57 | 3.91 |
| 2,952 gr. Avoine. . . . . . . . . . | 443.68 | 2508.32 | 105.38 | 2402.94 | 30.70 | 243.21 | 1385.96 | 113.95 | 251.46 | 374.63 | 40.74 |
| 632 gr. Féverole. . . . . . . . . | 71.73 | 560.27 | 21.49 | 538.78 | 14.09 | 35.07 | 278.90 | 9.48 | 189.28 | 11.96 | 30.29 |
| 2,180 gr. Maïs. . . . . . . . . . | 312.83 | 1867.17 | 37.93 | 1829.24 | 34.66 | 39.24 | 1398.47 | 39.24 | 201.70 | 112.93 | 32.76 |
| 432 gr. Tourteau. . . . . . . . . | 57.13 | 374.87 | 11.32 | 363.55 | 2.07 | 18.14 | 230.95 | 32.62 | 71.47 | 5.30 | 11.92 |
| 8,612 gr. . . . . . . . . . . . . . | 1273.12 | 7338.88 | 325.65 | 7013.23 | 98.67 | 883.45 | 3743.31 | 226.51 | 870.89 | 1190.40 | 139.40 |
| **Du 8 mai au 9 juillet 1881 inclus.** | | | | | | | | | | | |
| 1,568 gr. Foin contenant . . . . . . | 197.57 | 1370.43 | 124.97 | 1245.46 | 12.86 | 336.33 | 317.67 | 19.91 | 132.18 | 426.51 | 21.14 |
| 848 gr. Paille . . . . . . . . . . | 95.31 | 752.69 | 42.48 | 710.21 | 4.07 | 218.70 | 202.16 | 15.77 | 30.19 | 239.32 | 4.84 |
| 2,952 gr. Avoine. . . . . . . . . .<br>632 gr. Féverole. . . . . . . . .<br>2,180 gr. Maïs . . . . . . . . . .<br>432 gr. Tourteau. . . . . . . . . | 885.37 | 5310.63 | 176.12 | 5134.51 | 81.52 | 335.69 | 3294.28 | 195.29 | 722.91 | 504.82 | 115.71 |
| 8,612 gr. . . . . . . . . . . . . . | 1178.25 | 7433.75 | 343.57 | 7090.18 | 98.45 | 890.72 | 3814.11 | 230.97 | 885.28 | 1170.65 | 141.69 |

## COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE DE LA SUBSTANCE ORGANIQUE DE LA RATION JOURNALIÈRE D'ENTRETIEN.

| FOURRAGES. | Du 6 mars au 7 mai 1881 inclus. | | | | | Du 8 mai au 7 juin 1881 inclus. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Carbone. | Hydrogène. | Azote. | Oxygène. | Substance organique. | Carbone. | Hydrogène. | Azote. | Oxygène. | Substance organique. |
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| 1,044 gr. Foin contenant. | 394.88 | 44.50 | 13.18 | 350.70 | 803.26 | 407.19 | 51.16 | 11.07 | 356.87 | 829.26 |
| 564 gr. Paille. | 211.94 | 28.93 | 2.59 | 203.68 | 447.14 | 231.40 | 28.72 | 3.21 | 209.02 | 472.35 |
| 1,968 g. Avoine. | 770.13 | 99.13 | 27.16 | 705.55 | 1601.96 | 1616.82 | 206.68 | 77.06 | 1520.19 | 3420.75 |
| 420 gr. Féverole. | 167.83 | 22.15 | 20.13 | 147.94 | 358.05 | | | | | |
| 1,452 g. Maïs. | 561.51 | 70.51 | 21.82 | 564.53 | 1218.38 | | | | | |
| 288 gr. Tourteau | 117.35 | 14.89 | 7.95 | 102.17 | 242.36 | | | | | |
| 5,736 gr. | 2223.64 | 280.11 | 92.83 | 2074.57 | 4671.15 | 2255.38 | 286.56 | 94.34 | 2086.08 | 4722.36 |

COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE DE LA SUBSTANCE ORGANIQUE DE LA RATION JOURNALIÈRE DE TRANSPORT.

| FOURRAGES. | Du 6 mars au 7 mai 1881 inclus. | | | | | Du 8 mai au 7 juin 1881 inclus. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Carbone. | Hydrogène. | Azote. | Oxygène. | Substance organique. | Carbone. | Hydrogène. | Azote. | Oxygène. | Substance organique. |
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| 1,148 gr. Foin | 434.21 | 48.93 | 14.48 | 385.65 | 883.27 | 447.72 | 56.26 | 15.48 | 392.40 | 911.86 |
| 620 gr. Paille | 232.99 | 31.80 | 2.86 | 223.88 | 491.53 | 254.38 | 31.57 | 3.54 | 229.76 | 519.25 |
| 2,164 gr. Avoine | 846.82 | 109.00 | 29.86 | 775.81 | 1761.50 | | | | | |
| 464 gr. Féverole | 185.41 | 24.48 | 22.24 | 163.44 | 395.57 | 1779.75 | 227.51 | 84.87 | 1673.43 | 3765.56 |
| 1,600 gr. Maïs | 618.75 | 77.69 | 24.05 | 622.07 | 1342.56 | | | | | |
| 316 gr. Tourteau | 128.77 | 16.34 | 8.72 | 112.11 | 265.93 | | | | | |
| 6,312 gr. | 2446.95 | 308.24 | 102.21 | 2282.96 | 5140.36 | 2481.85 | 315.34 | 103.89 | 2295.59 | 5196.67 |

COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE DE LA SUBSTANCE ORGANIQUE DE LA RATION JOURNALIÈRE DE TRAVAIL.

| FOURRAGES. | Du 6 mars au 7 mai 1881 inclus. | | | | | Du 8 mai au 9 juillet 1881 inclus. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Carbone. | Hydrogène. | Azote. | Oxygène. | Substance organique. | Carbone. | Hydrogène. | Azote. | Oxygène. | Substance organique. |
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| 1,568 gr. Foin contenant | 593.08 | 66.83 | 19.78 | 526.73 | 1206.42 | 611.52 | 76.84 | 21.14 | 535.96 | 1245.46 |
| 848 gr. Paille. | 318.66 | 43.49 | 3.91 | 306.24 | 672.30 | 347.93 | 43.18 | 4.84 | 314.26 | 710.21 |
| 2,952 gr. Avoine | 1155.19 | 148.69 | 40.74 | 1058.32 | 2402.94 | | | | | |
| 632 gr. Féverole. | 252.54 | 33.34 | 30.29 | 222.61 | 538.78 | 2426.80 | 310.23 | 115.71 | 2281.77 | 5134.51 |
| 2,180 gr. Maïs | 843.04 | 105.86 | 32.76 | 847.58 | 1829.24 | | | | | |
| 432 gr. Tourteau. | 176.03 | 22.34 | 11.92 | 153.26 | 363.55 | | | | | |
| 8,612 gr. | 3338.54 | 420.55 | 139.40 | 3114.74 | 7013.23 | 3386.25 | 430.25 | 141.69 | 3131.99 | 7090.18 |

### *Quantité et composition centésimale immédiate et élémentaire des mélanges laissés.*

Les chevaux n'ont pas toujours consommé la totalité de leur ration : ils en ont laissé des poids variables, de sorte que les chiffres des tableaux précédents ne représentent pas exactement la quantité de nourriture qui a été réellement ingérée. Nous avons soigneusement recueilli, pesé et analysé les restes des repas. Ces résidus avaient la composition centésimale indiquée dans les tableaux suivants :

COMPOSITION CENTÉSIMALE IMMÉDIATE DES MÉLANGES LAISSÉS PAR LES CHEVAUX.

| ANALYSE N° | MÉLANGE LAISSÉ. | EAU. | CENDRES privées de $CO^2$. | GLUCOSE. | CELLULOSE. | AMIDON. | GRAISSE. | MATIÈRE azotée. | INDÉTERMINÉS. | TOTAL. | AZOTE. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22 | En mars par cheval n° 2. . . . | 16.15 | 4.65 | 0.69 | 11.97 | 35.68 | 2.39 | 9.73 | 18.74 | 100.00 | 1.556 |
| 13 | En avril par cheval n° 3. . . . | 13.225 | 2.62 | 0.48 | 4.20 | 53.46 | 7.55 | 17.21 | 1.225 | 100.00 | 2.759 |
| 25 | En mai par cheval n° 1. . . . . | 12.55 | 4.16 | 0.87 | 8.43 | 40.18 | 2.97 | 13.79 | 17.05 | 100.00 | 2.206 |
| 28 | En juin par cheval n° 3. . . . | 11.50 | 4.41 | 0.95 | 9.01 | 41.74 | 3.18 | 12.00 | 17.21 | 100.00 | 1.920 |

COMPOSITION CENTÉSIMALE ÉLÉMENTAIRE DE LA SUBSTANCE ORGANIQUE DES MÉLANGES LAISSÉS PAR LES CHEVAUX.

| ANALYSE N° | MÉLANGE LAISSÉ. | CARBONE. | HYDROGÈNE. | AZOTE. | OXYGÈNE. | TOTAL. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 22 | En mars par cheval n° 2 . . . . . | 52.07 | 6.00 | 1.96 | 39.97 | 100.00 |
| 13 | En avril par cheval n° 3 . . . . . | 48.42 | 6.14 | 3.28 | 42.16 | 100.00 |
| 25 | En mai par cheval n° 1. . . . . . | 47.43 | 6.26 | 2.65 | 43.66 | 100.00 |
| 28 | En juin par cheval n° 3. . . . . . | 47.39 | 6.88 | 2.28 | 43.45 | 100.00 |

De ces analyses, on déduit la composition suivante des résidus mensuels :

COMPOSITION IMMÉDIATE DES FOURRAGES LAISSÉS PAR LES CHEVAUX (CALCULÉE POUR 26 JOURS).

| ANALYSE N° | LAISSÉ PAR | EAU. | SUBSTANCE sèche. | CENDRES. | SUBSTANCE organique. | GLUCOSE. | CELLULOSE. | AMIDON. | GRAISSE. | MATIÈRE azotée. | INDÉTERMINÉS. | TOTAL. | AZOTE. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| | *Cheval n° 1.* | | | | | | | | | | | | |
| 25 | En mai 1881 . . . . . . . . . . . . . . | 236.92 | 1650.08 | 78.45 | 1571.63 | 16.41 | 159.07 | 758.19 | 56.01 | 260.22 | 321 70 | 1887.00 | 41.63 |
| | *Cheval n° 2.* | | | | | | | | | | | | |
| 22 | En mars 1881 . . . . . . . . . . . . . | 2383.95 | 12377.31 | 686.40 | 11690.91 | 101.85 | 1766.93 | 5266.83 | 352.79 | 1436.27 | 2766.27 | 14761.29 | 229.751 |
| | *Cheval n° 3.* | | | | | | | | | | | | |
| 13 | En avril 1881. . . . . . . . . . . . . . | 100.90 | 662.10 | 19.99 | 642.11 | 3.66 | 32.01 | 407.90 | 57.61 | 131.51 | 9.36 | 763.00 | 21.05 |
| 28 | En juin 1881. . . . . . . . . . . . . . | 530.49 | 4082.51 | 203.43 | 3879.08 | 43.82 | 415.63 | 1925.46 | 116.69 | 553.56 | 793.92 | 4613.00 | 88.57 |

COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE DE LA SUBSTANCE ORGANIQUE DES MÉLANGES LAISSÉS PAR LES CHEVAUX (CALCULÉE POUR 26 JOURS).

| ÉLÉMENTS. | CHEVAL N° 1, en mai 1881. | CHEVAL N° 2 en mars 1881. | CHEVAL N° 3 en avril 1881. | CHEVAL N° 3 en juin 1881. |
|---|---|---|---|---|
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| Carbone . . . . . . . . | 745.42 | 6087.47 | 310.91 | 1838.26 |
| Hydrogène . . . . . . . | 98.38 | 701.45 | 39.45 | 266.88 |
| Azote . . . . . . . . . | 41.63 | 229.75 | 21.05 | 88.57 |
| Oxygène . . . . . . . . | 686.20 | 4672.27 | 270.70 | 1685.34 |
| Substance organique . . . | 1571.63 | 11690.94 | 642.11 | 3879.05 |

Pour les calculs relatifs à l'établissement du coefficient de digestibilité indiqué plus loin, nous admettons que chaque cheval a laissé par jour un même poids de mélange, égal, par conséquent à $\frac{1}{31}$ du poids total recueilli par mois.

Les compositions immédiate et élémentaire des rations étant connues, nous allons mettre sous les yeux de nos lecteurs l'ensemble des résultats analytiques des fèces. Nous renverrons nos lecteurs au mémoire original pour les tableaux numériques (31 tableaux in-4°) présentant le relevé par mois d'expériences, des observations, pesées, mesures, analyses effectuées pour chacun des chevaux. (V. 2e Mémoire, p. 9 à 50.)

Après avoir rapporté les essais faits au camion et à la voiture, nous résumerons les chiffres relatifs au travail mécanique effectué par les chevaux dans les différentes conditions où ils ont été placés.

## COMPOSITION CENTÉSIMALE IMMÉDIATE ET ÉLÉMENTAIRE DES FÈCES.

La composition centésimale immédiate des excréments solides a été rapportée à la matière sèche. Nous rappelons que la glucose étant intégralement assimilée fait constamment défaut dans les ex-

créments : dans notre précédent travail, nous avions déjà constaté le même fait. La composition centésimale élémentaire est rapportée à la matière organique.

COMPOSITION CENTÉSIMALE IMMÉDIATE DE LA SUBSTANCE SÈCHE DES FÈCES.

| | CENDRES privées de $CO^2$. | GLUCOSE. | CELLULOSE. | AMIDON. | GRAISSES. | MATIÈRE azotée. | INDÉTERMINÉS. | TOTAL. | SUBSTANCE organique. | AZOTE p. 100. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Cheval n° 1.* | | | | | | | | | | |
| Mars 1881 | 11.99 | 0 | 20.80 | 20.15 | 3.80 | 10.35 | 32.91 | 100.00 | 88.01 | 1.65 |
| Avril 1881 | 12.56 | 0 | 22.05 | 20.41 | 3.71 | 10.35 | 30.92 | 100.00 | 87.44 | 1.65 |
| Mai 1881 | 11.47 | 0 | 21.45 | 21.68 | 3.74 | 11.15 | 30.51 | 100.00 | 88.53 | 1.78 |
| Juin 1881 | 12.92 | 0 | 22.50 | 21.17 | 3.61 | 9.94 | 29.86 | 100.00 | 87.08 | 1.59 |
| *Cheval n° 2.* | | | | | | | | | | |
| Mars 1881 | 11.19 | 0 | 21.20 | 20.41 | 4.21 | 12.66 | 30.30 | 100.00 | 88.81 | 2.02 |
| Avril 1881 | 12.36 | 0 | 20.70 | 19.89 | 4.58 | 11.65 | 30.82 | 100.00 | 87.64 | 1.86 |
| Mai 1881 | 11.32 | 0 | 21.45 | 20.41 | 5.05 | 12.25 | 29.52 | 100.00 | 88.68 | 1.96 |
| Juin 1881 | 11.72 | 0 | 21.25 | 20.41 | 4.24 | 12.15 | 30.23 | 100.00 | 88.28 | 1.94 |
| *Cheval n° 3.* | | | | | | | | | | |
| Mars 1881 | 11.45 | 0 | 21.65 | 20.66 | 4.43 | 10.75 | 31.06 | 100.00 | 88.55 | 1.72 |
| Avril 1881 | 10.87 | 0 | 23.50 | 21.17 | 3.71 | 9.64 | 31.11 | 100.00 | 89.13 | 1.51 |
| Mai 1881 | 12.39 | 0 | 22.15 | 20.66 | 3.95 | 10.45 | 30.40 | 100.00 | 87.61 | 1.67 |
| Juin 1881 | 12.45 | 0 | 23.25 | 20.66 | 3.54 | 10.25 | 29.85 | 100.00 | 87.55 | 1.64 |

COMPOSITION CENTÉSIMALE ÉLÉMENTAIRE DE LA SUBSTANCE ORGANIQUE DES FÈCES.

| ÉLÉMENTS. | CHEVAL N° 1. | | | | CHEVAL N° 2. | | | | CHEVAL N° 3. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mars. | Avril. | Mai. | Juin. | Mars. | Avril. | Mai. | Juin. | Mars. | Avril. | Mai. | Juin. |
| Carbone | 51.46 | 50.53 | 51.21 | 51.38 | 51.97 | 52.17 | 52.19 | 51.54 | 51.74 | 51.78 | 51.97 | 52.53 |
| Hydrogène | 6.46 | 6.78 | 6.18 | 6.27 | 6.13 | 6.35 | 6.33 | 6.47 | 6.25 | 6.13 | 6.24 | 6.08 |
| Azote | 1.87 | 1.88 | 2.01 | 1.82 | 2.27 | 2.12 | 2.21 | 2.19 | 1.94 | 1.73 | 1.91 | 1.87 |
| Oxygène | 40.21 | 40.81 | 40.60 | 40.53 | 39.63 | 39.36 | 39.27 | 39.80 | 40.07 | 40.36 | 39.88 | 39.52 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

## COMPOSITION IMMÉDIATE ET ÉLÉMENTAIRE DES FÈCES RENDUES EN 26 JOURS.

Des chiffres précédents on déduit les compositions immédiate et élémentaire des fèces produites en 26 jours.

### COMPOSITION IMMÉDIATE DE LA SUBSTANCE SÈCHE DES FÈCES RENDUES EN 26 JOURS.

| | SUBSTANCE organique. | CENDRES. | GLUCOSE. | CELLULOSE. | AMIDON. | GRAISSES. | MATIÈRE azotée. | INDÉTERMINÉS. | TOTAL de la substance sèche. | AZOTE. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gr. | Gr | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| *Cheval n° 1.* | | | | | | | | | | |
| Mars 1881 . . . . . . | 31961.7 | 4354.3 | 0 | 7553.73 | 7317.67 | 1380.01 | 3758.71 | 11951.58 | 36316.0 | 599.21 |
| Avril 1881 . . . . . . | 41070.1 | 5899.4 | 0 | 10356.77 | 9586.47 | 1742.57 | 4861.34 | 14522.95 | 46969.5 | 775.00 |
| Mai 1881. . . . . . . | 62288.2 | 8070.1 | 0 | 15091.85 | 15253.68 | 2631.40 | 7844.95 | 21466.32 | 70358.3 | 1252.38 |
| Juin 1881 . . . . . . | 61543.8 | 9131.2 | 0 | 15901.87 | 14961.89 | 2551.38 | 7025.09 | 21103.57 | 70675.0 | 1123.73 |
| *Cheval n° 2.* | | | | | | | | | | |
| Mars 1881 . . . . . . | 53921.9 | 6794.1 | 0 | 12871.79 | 12392.13 | 2574.36 | 7686.64 | 18396.98 | 60716.0 | 1226.46 |
| Avril 1881 . . . . . . | 33967.4 | 4790.4 | 0 | 8022.86 | 7708.91 | 1775.11 | 4515.27 | 11945.25 | 38757.8 | 720.89 |
| Mai 1881. . . . . . . | 42564.1 | 5433.2 | 0 | 10295.42 | 9796.25 | 2123.86 | 5879.67 | 14168.90 | 47997.3 | 940.75 |
| Juin 1881. . . . . . . | 60635.1 | 8019.9 | 0 | 14595.56 | 14018.61 | 2912.24 | 8345.23 | 20763.46 | 68685.0 | 1332.49 |
| *Cheval n° 3.* | | | | | | | | | | |
| Mars 1881 . . . . . . | 40734.9 | 5267.2 | 0 | 9959.43 | 9504.01 | 2037.89 | 4945.21 | 14288.27 | 46002.0 | 791.23 |
| Avril 1881 . . . . . . | 61875.3 | 7546.1 | 0 | 16314.03 | 14696.51 | 2575.53 | 6692.22 | 21597.01 | 69421.4 | 1069.09 |
| Mai 1881. . . . . . . | 34630.8 | 4897.5 | 0 | 8755.52 | 8166.55 | 1561.37 | 4130.71 | 12016.65 | 39528.3 | 660.12 |
| Juin 1881. . . . . . . | 62122.9 | 8834.1 | 0 | 16497.50 | 14659.72 | 2412.54 | 7273.09 | 21280.05 | 70957.0 | 1163.69 |

COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE DE LA SUBSTANCE ORGANIQUE DES FÈCES RENDUES EN 26 JOURS.

| ÉLÉMENTS. | CHEVAL N° 1. | | | | CHEVAL N° 2. | | | | CHEVAL N° 3. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mars. | Avril. | Mai. | Juin. | Mars. | Avril. | Mai. | Juin. | Mars. | Avril. | Mai. | Juin. |
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| Carbone. . . . . . . | 16447.49 | 20752.72 | 31897.79 | 31621.20 | 28023.21 | 17720.79 | 22211.20 | 31251.33 | 21076.21 | 32039.05 | 17997.63 | 32633.16 |
| Hydrogène . . . . . | 2061.73 | 2781.55 | 3819.11 | 3858.79 | 3305.41 | 2156.93 | 2691.31 | 3923.09 | 2545.93 | 3792.95 | 2160.96 | 3777.07 |
| Azote. . . . . . . . | 599.21 | 775.00 | 1252.38 | 1123.73 | 1226.46 | 720.89 | 910.75 | 1332.49 | 791.23 | 1069.09 | 660.42 | 1163.69 |
| Oxygène . . . . . . | 12850.27 | 16757.83 | 25288.62 | 24910.08 | 21366.82 | 13368.79 | 16711.81 | 21128.19 | 16321.50 | 24974.23 | 13812.09 | 21518.98 |
| Substance organique. | 31961.70 | 41070.10 | 62288.20 | 61513.80 | 53921.90 | 33967.40 | 42561.10 | 60535.10 | 40731.90 | 61875.30 | 31630.80 | 62122.90 |

### UTILISATION DES RATIONS : COEFFICIENTS DE DIGESTIBILITÉ.

A l'aide des résultats indiqués jusqu'ici, il est possible de déterminer l'utilisation des rations employées et la digestibilité relative de chacun des principes immédiats dosés.

Il est clair que si de la ration journalière on déduit le mélange qui a pu être laissé, puis les principes immédiats des fèces journalières produites, la différence représentera la portion de ration qui aura été utilisée, c'est-à-dire digérée. En rapportant la quantité digérée de chacun des principes immédiats ou élémentaires à celle qui a été ingérée, on obtient leur coefficient de digestibilité, c'est-à-dire le taux pour 100 de chaque principe immédiat ou élémentaire utilisé. Tous ces calculs sont résumés dans les tableaux XXXII à LXVI du mémoire original.

Nous en extrayons, à titre de spécimens, les tableaux suivants relatifs au cheval n° 1 dans les trois conditions d'entretien (repos), transport au trot et travail au trot. Ces extraits suffiront pour nous permettre de discuter plus tard les différences que le trot et le travail, comparés au repos ou à la marche, exercent sur la disgestibilité des aliments chez le cheval.

TABLEAUX.

## Utilisation des principes immédiats des rations. — Moyenne journalière.

CHEVAL n° 1. (Numéro matricule 18336.) RATION D'ENTRETIEN. Tableau XXXII.

| MOIS DE MARS. | SUBSTANCE sèche. | CENDRES. | SUBSTANCE organique. | GLUCOSE. | CELLULOSE. | AMIDON. | GRAISSE. | MATIÈRE azotée. | INDÉTERMINÉS. | AZOTE. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| Donné du 11 mars au 5 avril inclus. . . . . . . . . | 127088.78 | 5638.88 | 121449.90 | 1708.72 | 15294.24 | 64833.86 | 3923.66 | 15077.92 | 20611.50 | 2413.58 |
| Laissé ($\frac{26}{31}$ =) . . . . . | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ingéré . . . . . . . . . . | 127088.78 | 5638.88 | 121449.90 | 1708.72 | 15294.24 | 64833.86 | 3923.66 | 15077.92 | 20611.50 | 2413.58 |
| Fèces. . . . . . . . . . . | 36316.00 | 4354.30 | 31961.70 | 0 | 7553.73 | 7317.67 | 1380.01 | 3758.71 | 11951.58 | 599.21 |
| Digéré . . . . . . . . . . | 90772.73 | 1284.58 | 89488.20 | 1708.72 | 7740.51 | 57516.19 | 2543.65 | 11319.21 | 8659.92 | 1814.37 |
| MOYENNE JOURNALIÈRE : | | | | | | | | | | |
| Ingéré . . . . . . . . . . | 4888.03 | 216.88 | 4671.15 | 65.72 | 588.24 | 2493.61 | 150.91 | 579.92 | 792.75 | 92.83 |
| Fèces. . . . . . . . . . . | 1396.77 | 167.48 | 1229.29 | 0 | 290.52 | 281.45 | 53.07 | 144.56 | 459.69 | 23.05 |
| Digéré . . . . . . . . . . | 3491.26 | 49.40 | 3441.86 | 65.72 | 297.72 | 2212.16 | 97.84 | 435.36 | 333.06 | 69.78 |
| Soit p. 100 . . . . . . . | 71.41 | 22.78 | 73.68 | 100.00 | 50.61 | 88.71 | 64.82 | 75.17 | 42.01 | 75.17 |

## Utilisation des principes immédiats des rations. — Moyenne journalière.

CHEVAL n° 1. (Numéro matricule 18336.) RATION DE TRANSPORT. Tableau XXXIII.

| MOIS D'AVRIL. | SUBSTANCE sèche. | CENDRES. | SUBSTANCE organique. | GLUCOSE. | CELLULOSE. | AMIDON. | GRAISSE. | MATIÈRE azotée. | INDÉTERMINÉS. | AZOTE. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| Donné du 12 avril au 7 mai. | 139852.70 | 6203.34 | 133649.36 | 1881.36 | 16820.70 | 71361.68 | 4315.74 | 16602.30 | 22667.58 | 2657.46 |
| Laissé ($\frac{26}{31}$ =) . . . . . | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ingéré . . . . . . . . . . | 139852.70 | 6203.34 | 133649.36 | 1881.36 | 16820.70 | 71361.68 | 4315.74 | 16602.30 | 22667.58 | 2657.46 |
| Fèces. . . . . . . . . . | 46969.50 | 5899.40 | 41070.10 | 0 | 10356.77 | 9586.47 | 1742.57 | 4861.34 | 14522.95 | 775.00 |
| Digéré . . . . . . . . . . | 92883.20 | 303.94 | 92579.26 | 1881.36 | 6463.93 | 61775.21 | 2573.17 | 11740.96 | 8144.63 | 1882.46 |
| MOYENNE JOURNALIÈRE : | | | | | | | | | | |
| Ingéré . . . . . . . . . . | 5378.95 | 238.59 | 5140.36 | 72.36 | 646.95 | 2744.68 | 165.99 | 638.55 | 871.83 | 102.21 |
| Fèces. . . . . . . . . . | 1806.52 | 226.90 | 1579.62 | 0 | 398.33 | 368.71 | 67.02 | 186.97 | 558.59 | 29.81 |
| Digéré . . . . . . . . . . | 3572.43 | 11.69 | 3560.74 | 72.36 | 248.62 | 2375.97 | 98.97 | 451.58 | 313.24 | 72.40 |
| Soit p. 100 . . . . . . . . | 66.41 | 4.89 | 69.27 | 100.00 | 38.43 | 86.56 | 59.62 | 70.72 | 35.93 | 70.72 |

## Utilisation des principes immédiats des rations. — Moyenne journalière.

CHEVAL n° 1. (Numéro matricule 18336.) — RATION DE TRAVAIL. — Tableau XXXIV.

| MOIS DE MAI. | SUBSTANCE sèche. | CENDRES. | SUBSTANCE organique. | GLUCOSE. | CELLULOSE. | AMIDON. | GRAISSE. | MATIÈRE azotée. | INDÉTERMINÉS. | AZOTE. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| Donné du 12 mai au 6 juin inclus. | 193277.50 | 8932.82 | 184344.68 | 2559.70 | 23158.72 | 99166.86 | 6005.22 | 23017.28 | 30436.90 | 3683.94 |
| Laissé ($\frac{26}{31}$ =) | 1650.08 | 78.45 | 1571.63 | 16.41 | 159.07 | 758.19 | 56.04 | 260.22 | 321.70 | 41.63 |
| Ingéré | 191627.42 | 8854.37 | 182773.05 | 2543.29 | 22999.65 | 98408.67 | 5949.18 | 22757.06 | 30115.20 | 3642.31 |
| Fèces | 70358.30 | 8070.10 | 62288.20 | 0 | 15091.85 | 15253.68 | 2631.40 | 7844.95 | 21466.32 | 1252.38 |
| Digéré | 121269.12 | 784.27 | 120484.85 | 2543.29 | 7907.80 | 83154.99 | 3317.78 | 14912.11 | 8648.88 | 2389.93 |
| MOYENNE JOURNALIÈRE : | | | | | | | | | | |
| Ingéré | 7370.28 | 340.55 | 7029.73 | 97.81 | 884.60 | 3784.95 | 228.81 | 874.93 | 1158.63 | 140.09 |
| Fèces | 2706.09 | 310.39 | 2395.70 | 0 | 580.45 | 586.68 | 101.21 | 301.72 | 825.64 | 48.17 |
| Digéré | 4664.19 | 30.16 | 4634.03 | 97.81 | 304.15 | 3198.27 | 127.60 | 573.21 | 332.99 | 91.92 |
| Soit p. 100 | 63.28 | 8.85 | 65.92 | 100.00 | 34.38 | 84.49 | 55.76 | 65.61 | 28.72 | 65.61 |

## Utilisation des principes élémentaires des rations.

MOYENNE JOURNALIÈRE.

CHEVAL n° 1. (Numéro matricule 18336.) Tableau XLIV.

| | CARBONE. | HYDROGÈNE. | AZOTE. | OXYGÈNE. | SUBSTANCE organique. |
|---|---|---|---|---|---|
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| **MARS** : Au repos. | | | | | |
| Donné. . . . . . . . | 57814.64 | 7282.86 | 2413.58 | 53938.82 | 121449.90 |
| Laissé ($\frac{26}{31}$ =). . . | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ingéré. . . . . . . | 57814.64 | 7282.86 | 2413.58 | 53938.82 | 121449.90 |
| Fèces. . . . . . . | 16447.49 | 2064.73 | 599.21 | 12850.27 | 31961.70 |
| Digéré. . . . . . . | 41367.15 | 5218.13 | 1814.37 | 41088.55 | 89488.20 |
| MOYENNE. | | | | | |
| Ingéré. . . . . . . | 2223.64 | 280.11 | 92.83 | 2074.57 | 4671.15 |
| Fèces. . . . . . . | 632.59 | 79.41 | 23.05 | 494.24 | 1229.29 |
| Digéré. . . . . . . | 1591.05 | 200.70 | 69.78 | 1580.33 | 3441.86 |
| Soit p. 100. . . . . | 71.55 | 71.64 | 75.17 | 76.17 | 73.68 |
| **AVRIL** : A la marche. | | | | | |
| Donné. . . . . . . | 63620.70 | 8014.24 | 2657.46 | 59356.96 | 133649.36 |
| Laissé ($\frac{26}{31}$ =). . . | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ingéré. . . . . . . | 63620.70 | 8014.24 | 2657.46 | 59356.96 | 133649.36 |
| Fèces. . . . . . . | 20752.72 | 2784.55 | 775.00 | 16757.83 | 41070.10 |
| Digéré. . . . . . . | 42867.98 | 5229.69 | 1882.46 | 42599.13 | 92579.26 |
| MOYENNE. | | | | | |
| Ingéré. . . . . . . | 2446.95 | 308.24 | 102.21 | 2282.96 | 5140.36 |
| Fèces. . . . . . . | 798.18 | 107.10 | 29.81 | 644.53 | 1579.62 |
| Digéré. . . . . . . | 1648.77 | 201.14 | 72.40 | 1638.43 | 3560.74 |
| Soit p. 100. . . . . | 67.38 | 65.25 | 70.72 | 71.76 | 69.27 |

### Utilisation des principes élémentaires des rations.

MOYENNE JOURNALIÈRE (*suite*).

| | CARBONE. | HYDROGÈNE. | AZOTE. | OXYGÈNE. | SUBSTANCE organique. |
|---|---|---|---|---|---|
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| **MAI** : AU TRAVAIL | | | | | |
| Donné. . . . . . . | 88042.50 | 11186.50 | 3683.94 | 81431.74 | 184344.68 |
| Laissé ($\frac{26}{31}$ =). . . | 745.42 | 98.38 | 41.63 | 686.20 | 1571.63 |
| Ingéré. . . . . . . | 87297.08 | 11088.12 | 3642.31 | 80745.54 | 182773.05 |
| Fèces. . . . . . . | 31897.79 | 3849.41 | 1252.38 | 25288.62 | 62288.20 |
| Digéré. . . . . . . | 55399.29 | 7238.71 | 2389.93 | 55456.92 | 120484.85 |
| MOYENNE. | | | | | |
| Ingéré. . . . . . . | 3357.58 | 426.46 | 140.09 | 3105.60 | 7029.73 |
| Fèces. . . . . . . | 1226.84 | 148.05 | 48.17 | 972.64 | 2395.70 |
| Digéré. . . . . . . | 2130.74 | 278.41 | 91.92 | 2132.96 | 4634.03 |
| Soit p. 100. . . . . | 63.46 | 65.28 | 65.61 | 68.68 | 65.92 |

## II. Période de transition.

### Mois de juillet 1881.

Les essais au manège étant terminés, le 9 juillet, les trois chevaux furent remis à la ration de transport. Ils devaient commencer le service du camionnage le 15 juillet ; mais un léger accident arrivé au palefrenier nous a obligés à reculer jusqu'au 1er août le début de ce service. Du 10 au 31 juillet, les trois chevaux reçurent la ration de transport composée de :

| | | |
|---|---|---|
| Foin. . . . . . . . . . . . . . | 1,148 | grammes. |
| Paille . . . . . . . . . . . . . | 620 | — |
| Avoine. . . . . . . . . . . . . | 2,164 | — |
| Féverole . . . . . . . . . . . . | 464 | — |
| Maïs. . . . . . . . . . . . . . | 1,600 | — |
| Tourteau. . . . . . . . . . . . | 316 | — |
| Total. . . . . . . . . | 6,312 | grammes. |

Sous l'influence de cette ration, les chevaux augmentèrent notablement de poids.

Le poids du cheval n° 1 passa de 426k,7 au 10 juillet, à 456 kilogr. le 31 juillet ; celui du cheval n° 2, de 406k,4 au 10 juillet, à 431k,7 le 31 juillet et celui du cheval n° 3, de 437k,5 au 10 juillet, à 458k,5 le 31 juillet.

Il est à présumer que ces rapides augmentations de poids sont dues, pour une forte part, à une accumulation d'eau dans l'organisme. Nous allons voir survenir tout à l'heure une diminution de poids aussi forte et aussi rapide, lorsque les chevaux commenceront le service du camionnage. Ces augmentations de poids montrent clairement, en tous cas, que la ration ci-dessus était bien trop forte pour l'entretien. Nous le savions *à priori*, mais il n'était pas sans intérêt, croyons-nous, d'examiner ce que deviendraient les poids des chevaux dans ce cas. Aussi avons-nous mis à profit, dans ce but, le temps qui s'est écoulé entre la fin des expériences au manège et le commencement des essais de camionnage.

## III. Troisième série. — Camionnage.

### Expériences faites en août et septembre 1881.

Jusqu'ici, tous les essais ont été faits avec le manège dynamométrique et, par suite s'écartent des conditions normales du mode de travail des chevaux de la Compagnie. Nous n'avions pas, dans les essais au manège, à compter avec l'imprévu que l'on rencontre à chaque pas dans les rues de Paris, ni avec des différences dans l'allure ou la traction des chevaux. Nos expériences étaient trop spécialisées et elles auraient pu prêter à la critique au point de vue des conséquences à en déduire pour le cheval de service. Aussi, pour compléter nos premières recherches, avons-nous soumis les trois chevaux avec la même ration de travail à un travail journalier au camion d'abord, puis à la voiture de place. A partir du 1er août inclus jusqu'au 30 septembre, les trois chevaux furent astreints à faire le service du transport des vivres de la manutention aux trois dépôts de Grenelle, Ségur et Barrière-Blanche. Pendant ce temps, le chemin

parcouru chaque jour est resté constamment le même ; la traction seule a varié, tant en raison de l'état de ce chemin que du poids des fourrages transportés. On a relevé avec soin, ainsi qu'il sera dit plus loin, tous les éléments nécessaires à l'évaluation du travail produit. Mais il ne nous a pas été possible de recueillir les excréments des chevaux et par suite d'établir le coefficient d'utilisation des fourrages. Nous n'avons pu, pendant ces deux mois, tenir compte que des variations de poids des chevaux et des quantités d'eau qui ont été ingérées par eux sous forme de boisson. Cependant ces données nous ont permis d'établir que la ration employée était suffisante pour l'entretien du cheval effectuant le travail auquel il était astreint.

Nous allons donner d'abord succinctement et en suivant le même ordre que dans les essais précédemment décrits, les résultats analytiques et expérimentaux que nous avons obtenus ; nous indiquerons ensuite le travail produit pendant ces deux mois de camionnage.

Tableaux.

## COMPOSITION CENTÉSIMALE DES FOURRAGES.

### COMPOSITION CENTÉSIMALE IMMÉDIATE DES FOURRAGES.

| ANALYSE N° | FOURRAGE. | CONSOMMÉ. | EAU. | CENDRES privées de $CO^2$. | GLUCOSE. | CELLULOSE. | AMIDON. | GRAISSE. | MATIÈRE azotée | INDÉTERMINÉS. | TOTAL. | AZOTE P. 100. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29 | Foin. | Du 1er août au 30 sept. inclus. | 11.07 | 7.36 | 0.32 | 19.31 | 27.38 | 1.83 | 9.56 | 23.11 | 100.00 | 1.53 |
| 30 | Paille. | Du 1er août au 30 sept. inclus. | 11.12 | 10.71 | 0.16 | 25.33 | 29.11 | 1.45 | 3.25 | 18.87 | 100.00 | 0.52 |
| 31 | Maïs. | Du 1er août au 30 sept. inclus. | 12.71 | 1.50 | 1.27 | 1.45 | 63.88 | 4.01 | 9.91 | 5.21 | 100.00 | 1.59 |
| 32 | Tourteau. | Du 1er août au 30 sept. inclus. | 10.24 | 0.88 | 0.25 | 1.05 | 50.28 | 9.28 | 19.19 | 8.83 | 100.00 | 3.07 |
| 33 | Avoine. | Du 1er août au 30 sept. inclus. | 12.70 | 3.72 | 0.97 | 7.55 | 46.78 | 4.94 | 10.34 | 13.00 | 100.00 | 1.65 |
| 34 | Féverole. | Du 1er août au 30 sept. inclus. | 8.43 | 5.43 | 1.36 | 6.60 | 48.26 | 1.24 | 27.32 | 1.36 | 100.00 | 4.37 |

### COMPOSITION CENTÉSIMALE ÉLÉMENTAIRE DE LA SUBSTANCE ORGANIQUE DES FOURRAGES.

| ÉLÉMENTS. | FOIN. Analyse n° 29. | PAILLE. Analyse n° 30. | MAÏS. Analyse n° 31. | TOURTEAU. Analyse n° 32. | AVOINE. Analyse n° 33. | FÉVEROLE. Analyse n° 34. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Carbone. . . . . . . | 50.35 | 48.50 | 46.24 | 49.83 | 47.58 | 47.57 |
| Hydrogène. . . . . | 5.83 | 6.03 | 6.34 | 6.42 | 6.47 | 6.46 |
| Azote. . . . . . . | 1.87 | 0.66 | 1.85 | 3.45 | 1.97 | 5.07 |
| Oxygène. . . . . . | 41.95 | 41.81 | 45.57 | 40.30 | 43.98 | 40.90 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

### COMPOSITION IMMÉDIATE ET ÉLÉMENTAIRE DE LA RATION.

*(Du 1er août au 30 septembre inclus.)*

Des compositions centésimales précédentes, l'on déduit les compositions immédiate et élémentaire suivantes de la ration :

COMPOSITION IMMÉDIATE DE LA RATION JOURNALIÈRE DE TRAVAIL.

| FOURRAGES. | EAU. | SUBSTANCE sèche. | CENDRES. | SUBSTANCE organique. | GLUCOSE. | CELLULOSE. | AMIDON. | GRAISSE. | MATIÈRE azotée. | INDÉTERMINÉS. | AZOTE. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| 1,568 gr. Foin contenant. . | 175.58 | 1392.42 | 115.40 | 1277.02 | 5.02 | 303.25 | 429.32 | 28.69 | 149.90 | 360.84 | 23.99 |
| 848 gr. Paille. . . . . . | 94.29 | 753.71 | 90.82 | 662.89 | 1.35 | 214.80 | 246.85 | 12.29 | 27.56 | 160.04 | 4.41 |
| 2,952 gr. Avoine . . . . . | 374.90 | 2577.10 | 109.81 | 2467.29 | 28.63 | 222.87 | 1380.94 | 145.83 | 305.23 | 383.79 | 48.71 |
| 632 gr. Féverole. . . . . | 53.28 | 578.72 | 34.32 | 544.40 | 8.59 | 41.71 | 305.00 | 7.83 | 172.66 | 8.61 | 27.62 |
| 2,180 gr. Maïs . . . . . . | 277.08 | 1902.92 | 32.70 | 1870.22 | 27.68 | 31.61 | 1392.58 | 88.07 | 216.69 | 113.59 | 34.66 |
| 432 gr. Tourteau . . . . | 44.23 | 387.77 | 3.80 | 383.97 | 1.08 | 4.54 | 217.21 | 40.09 | 82.90 | 38.15 | 13.26 |
| 8,612 gr. . . . . . . . . | 1019.36 | 7592.64 | 386.85 | 7205.79 | 72.35 | 818.78 | 3971.90 | 322.80 | 954.94 | 1065.02 | 152.65 |

COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE DE LA SUBSTANCE ORGANIQUE DE LA RATION JOURNALIÈRE DE TRAVAIL.

| FOURRAGES. | Du 1er août au 30 septembre 1881. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Carbone. | Hydrogène. | Azote. | Oxygène. | Substance organique. |
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| 1,568 gr. Foin contenant . . . | 643.99 | 74.57 | 23.92 | 536.54 | 1279.02 |
| 818 gr. Paille. . . . . . . | 321.50 | 39.97 | 4.37 | 297.05 | 662.89 |
| 2,952 gr. Avoine . . . . . . | 1173.93 | 159.63 | 48.60 | 1085.13 | 2467.29 |
| 632 gr. Féverole. . . . . . | 258.97 | 35.17 | 27.60 | 222.66 | 544.40 |
| 2,180 gr. Maïs . . . . . . . . | 864.79 | 118.57 | 34.60 | 852.26 | 1870.22 |
| 432 gr. Tourteau. . . . . . | 191.33 | 24.65 | 13.25 | 154.74 | 383.97 |
| 8,612 gr. . . . . . . . . . . | 3454.51 | 452.56 | 152.34 | 3146.38 | 7205.79 |

Les chevaux ayant consommé la totalité de leur ration, il n'y a pas eu de mélanges laissés.

Pour évaluer le travail mécanique par les trois chevaux fait du 1er août au 30 septembre inclus, on ne pouvait songer à relever chaque jour au dynamomètre enregistreur et pour la voiture chargée le travail kilogrammétrique effectué. Il fallait par conséquent recourir à une évaluation moyenne journalière. A la demande de M. le président du Conseil, cette détermination a été faite par feu P. Plessis, ingénieur civil, qui nous en a remis tous les détails[1]. Nous indiquerons plus loin le travail effectué par chacun des chevaux en expériences pour le camionnage.

Des expériences de M. Plessis et des documents qui les résument, nous déduisons le tableau suivant qui donne, pour chaque jour, le poids moyen transporté, le chemin parcouru, la traction moyenne et le travail produit :

1. Voir 2e Mémoire, p. 72 et suiv.

| DESTINATION. | POIDS transporté. | CHEMIN parcouru. | TRACTION moyenne. | TRAVAIL produit. | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|---|
| | Kilogr. | Mètres. | Kilogr. | Kgrm. | |
| De Manutention à Barrière-Blanche. | 3195 | 3208.45 | 144.21 | 462690 | |
| De Barrière-Blanche à Manutention. | 145 | 1961.12 | 40.07 | 78582 | |
| De Manutention à Ségur. . . . . | 3155 | 7231.63 | 127.40 | 921309 | |
| De Ségur à Manutention. . . . . | 145 | 6715.50 | 50.44 | 338729 | |
| De Manutention à Grenelle. . . . | 2970 | 6543.07 | 117.30 | 767502 | |
| De Grenelle à Manutention. . . . | 130 | 6449.35 | 47.915 | 309020 | |
| Totaux. . . . . . . . . | 9740 | 32109.12 | » | 2877832 | |
| Soit par cheval. . . . . . . . | » | 32109.12 | » | 959277 | |

## IV. Quatrième série.

## Expériences avec une voiture de place.

### Du 1er décembre 1881 au 12 août 1882.

Les expériences de la 4e série ont eu pour but de placer les chevaux, pendant le travail, dans des conditions identiques à celles de tous les chevaux de service de la Compagnie. Dans les expériences précédemment décrites, le cheval travaillait tous les jours et recevait une ration journalière uniforme ; mais pour les essais de la voiture de place, le cheval ne devait plus travailler qu'un jour sur deux ; comme dans les dépôts, il recevait le jour de repos une ration différente de celle du jour de travail. Nous nous proposions d'appliquer le programme que nous avons suivi dans les essais antérieurs au manège, c'est-à-dire que nous voulions faire suivre le cheval travaillant par un second cheval attaché à la voiture, ne transportant que son propre poids et faisant le même chemin que le premier. Mais nous avons dû renoncer partiellement à ce système en raison de la traction supplémentaire et parfois considérable que ce cheval occasionnait en se faisant traîner. Le premier essai avec le cheval n° 1 a dû même être recommencé à cause de ce fait.

Le cheval n° 3 était maintenu au repos, dans sa stalle, avec la ration d'entretien. On verra plus loin que cette ration d'entretien a pu être légèrement diminuée sans inconvénient. Chacun des trois chevaux a donc passé successivement par les périodes de travail et de repos.

Dans le cours de la quatrième série d'expériences, nous n'avons pu recueillir que les fèces des chevaux au repos; nous n'indiquerons donc que les coefficients de digestibilité concernant la ration d'entretien.

Les 3 chevaux ont passé par les trois états de repos, de marche et de travail aux époques suivantes :

| | | |
|---|---|---|
| Au repos : | Cheval n° 1, | du 1er février au 11 avril 1882. |
| | Cheval n° 2, | du 12 avril au 12 août 1882. |
| | Cheval n° 3, | du 1er décembre 1881 au 1er avril 1882.<br>du 21 juin au 12 août 1882. |
| A la marche : | Cheval n° 1, | du 12 avril au 11 juin 1882. |
| | Cheval n° 2, | du 1er décembre 1881 au 12 janvier 1882. |
| | Cheval n° 3, | néant. |
| Au travail : | Cheval n° 1, | du 1er décembre 1881 au 31 janvier 1882.<br>du 13 juin au 12 août 1882. |
| | Cheval n° 2, | du 1er février au 31 mars 1882. |
| | Cheval n° 3, | du 12 avril au 11 juin 1882. |

Le cheval n° 1 à la marche (il suivait la voiture traînée par le cheval n° 3) a parcouru du 12 avril au 18 mai inclus, le même chemin que le cheval n° 3 au travail. Comme il commençait à se faire traîner, à partir de cette date jusqu'au 11 juin, on ne lui a plus fait faire par jour de sortie, c'est-à-dire tous les deux jours, que 20 kilomètres.

Le cheval n° 2 a suivi la voiture du 1er décembre 1881 au 12 janvier 1882 et parcouru, par conséquent, le même chemin que le cheval n° 1. A partir du 13 janvier, il a été maintenu au repos et ne faisait plus, conduit à la main, qu'une promenade d'environ 4 kilomètres en même temps que le cheval n° 3.

Le cheval n° 3 n'a pas été soumis à la marche.

Le cheval n° 2 s'est fait traîner fréquemment et a contribué pour une large part, non seulement à fausser les résultats du travail produit par des tractions supplémentaires non évaluables, mais à amener une diminution de poids très rapide du cheval n° 1, attelé à la

voiture. Aussi avons-nous jugé nécessaire de recommencer cette expérience : c'est pour cette raison que le cheval n° 1 a travaillé une seconde fois du 13 juin au 12 août 1882.

Comme on le voit, les expériences ont eu une durée suffisante pour que, comme dans les essais au manège, chaque cheval donne 30 ou 31 jours de travail effectif.

Afin que nos trois chevaux fussent placés dans des conditions de travail identiques à celles des chevaux de la Compagnie, M. le Président du Conseil nous remit 31 feuilles de travail réellement fait, choisies parmi celles que la Compagnie reçoit chaque jour, et représentant le travail moyen du jour de sortie ; la moyenne de ces 31 feuilles donnait un parcours total pour le jour de sortie de $62^{km},261$. Voici, à titre de spécimen, la reproduction de l'une d'elles (feuille de travail n° 7).

Tableau.

# COMPAGNIE GÉNÉRALE DES VOITURES A PARIS. **Dépôt.**

Modèle n° 48.

## PLACE. FEUILLE DE TRAVAIL N° 7 DU 19 DÉCEMBRE 1881 [1].

**VOITURE N°** *conduite par le Cocher* *inscrit n°* .

*Sortie à 7 h. 30 m. — Rentrée à 9 h. 15 m.*

| | ARRIVÉE sur la place. | | | DÉPART de la place. | | TEMPS du CHARGEMENT. | NUMÉROS. | TEMPS du RABAT. | NUMÉROS. | ARRIVÉE à destination. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nos des places. | Heures. | Minutes. | Heures. | Minutes. | | | | | Heures. | Minutes. |
| .. | ... | 7 | 45 | .. | .. | ... | ... | Rabat. 15′ = $2^{k}$,000 | ... | .. | .. |
| 1 | ... | .. | .. | 8 | » | 2 heures. 120′ = $16^{k}$,000 | ... | ... | ... | 10 | » |
| 2 | ... | 10 | 10 | .. | .. | ... | ... | Rabat. 10′ = 1 ,333 | ... | .. | .. |
| 3 | ... | .. | .. | 11 | » | Course. 20′ = 2 ,666 | ... | ... | ... | 11 | 20 |
| 4 | ... | 11 | 25 | .. | .. | ... | ... | Rabat. 5′ = 0 ,666 | ... | .. | .. |
| 5 | ... | .. | .. | 11 | 45 | Déjeûner. | ... | ... | ... | .. | .. |
| 6 | ... | 12 | 30 | 12 | 35 | Course. 20′ = 2,666 | ... | ... | ... | 12 | 55 |
| 7 | ... | 1 | » | .. | .. | ... | ... | Rabat. 5′ = 0 ,666 | ... | .. | .. |
| 8 | ... | .. | .. | 1 | 15 | Course. 35′ = 4 ,666 | ... | ... | ... | 1 | 50 |
| 9 | ... | 2 | » | .. | .. | ... | ... | Rabat. 10′ = 1 ,333 | ... | .. | .. |
| 10 | ... | .. | .. | 2 | 25 | 1 h. 10 m. 70′ = 9 ,333 | ... | ... | ... | 3 | 35 |
| 11 | ... | 3 | 50 | .. | .. | ... | ... | Rabat. 15′ = 2 ,000 | ... | .. | .. |
| 12 | ... | .. | .. | 4 | 30 | 1 heure. 60′ = 8 ,000 | ... | ... | ... | 5 | 30 |
| 13 | ... | 5 | 40 | .. | .. | ... | ... | Rabat. 10′ = 1 ,333 | ... | .. | .. |
| 14 | ... | .. | .. | 6 | 5 | Dîner. | ... | ... | ... | .. | .. |
| 15 | ... | 6 | 40 | 6 | 45 | Course. 15′ = 2 ,000 | ... | ... | ... | 7 | » |
| 16 | ... | 7 | 5 | .. | .. | ... | ... | Rabat. 5′ = 0 ,666 | ... | .. | .. |
| 17 | ... | .. | .. | 7 | 15 | Course. 20′ = 2 ,666 | ... | ... | ... | 7 | 35 |
| 18 | ... | 7 | 45 | .. | . | ... | ... | Rabat. 10′ = 1 ,333 | ... | .. | .. |
| 19 | ... | .. | .. | 8 | 30 | Course. 30′ = 4 ,000 | ... | ... | ... | 9 | » |
| .. | ... | .. | .. | .. | .. | Rentrée au dépôt. | ... | Rabat. 15′ = 2 ,000 | ... | 9 | 15 |
| | | | | | | $51^{km}$,997 | | $13^{km}$,330 | | | |

1. Le travail indiqué sur cette feuille a été fait les jours suivants :

Cheval n° 1. 19 déc. 1881. 21 juin 1882.
Cheval n° 2. 12 fév. 1882.
Cheval n° 3. 20 avril 1882.

6 courses,
3 chargements à l'heure,

9 pour un parcours de $65^{km}$,327, dont $51^{km}$,997 en courses ou heures.

Notre cocher était astreint à reproduire exactement avec la voiture le travail indiqué par cette feuille. Un appareil enregistreur placé dans la voiture, nous permettait de contrôler si le travail de cette feuille avait été ponctuellement exécuté.

Ce travail a été fait :

Par le cheval n° 1, le 19 décembre 1881 et le 21 juin 1882.

— n° 2, le 12 février 1882,

— n° 3, le 20 avril 1882.

Avant d'indiquer les résultats numériques que nous avons obtenus, il est nécessaire de faire connaître succinctement : 1° les moyens que nous avons employés pour effectuer le travail et l'évaluer, ainsi que le chemin parcouru ; 2° comment le rationnement des chevaux a été fait.

### 1° Voiture d'expérience. Chemin parcouru. Travail produit.

Nous nous sommes servis d'une voiture à 2 places du type coupé n° 4. Les voyageurs à transporter étaient figurés par 2 poids de 70 kilogr. chacun, placés sur la banquette.

La voiture d'expérience ne diffère des autres voitures de service du même type que par un petit appareil additionnel destiné à enregistrer les allures de la voiture et le chemin parcouru. Cet appareil consiste en un excentrique calé sur le moyeu de l'une des deux grandes roues et en un tambour à levier imaginé par M. E. J. Marey, professeur au Collège de France, fixé sur l'essieu à proximité de l'excentrique, chargé de transmettre le mouvement à l'appareil enregistreur appelé odographe, dont M. Marey définit ainsi le but :

« Un des plus grands obstacles à l'emploi de la méthode graphique pour étudier les déplacements d'un corps, c'est la difficulté qu'il y a presque toujours à fixer à ce corps un style écrivant, et surtout à placer une feuille de papier de façon qu'elle reçoive le tracé du style. Aussi est-il indispensable d'avoir un moyen de transmettre le mouvement à distance, l'empruntant à l'organe qu'on étudie, pour l'envoyer au style qui doit l'inscrire sur le papier. C'est par des tubes à air que j'ai obtenu les transmissions les plus satisfaisantes.

« La disposition qui se prête à la plupart des expériences consiste

à employer deux tambours à levier, dont l'un reçoit le mouvement, tandis que l'autre le trace.

« Ces tambours sont formés chacun d'une caisse métallique fermée en haut par une membrane de caoutchouc mince et très peu tendue. Les deux tambours portent chacun un tube métallique qui s'ouvre à leur intérieur et s'adapte à un tuyau de caoutchouc qui les fait communiquer l'un avec l'autre. Si l'on appuie sur la membrane du premier tambour, on expulse une partie de l'air qu'il contient; cet air passe à travers le tube dans le deuxième tambour, dont il soulève la membrane. Quand on cesse de presser sur le premier tambour, la membrane du deuxième s'abaisse. C'est cette solidarité d'action des deux tambours qui permet de transmettre un mouvement à distance. Pour cela, on colle sur chacune des membranes un disque en aluminium relié avec un levier qui s'articule, par une de ses extrémités, à un point fixe placé dans le voisinage de l'axe. Cette articulation permet au levier d'exécuter des mouvements verticaux.

« Or, si l'on imprime un mouvement à l'un des leviers, cela produit, par l'intermédiaire du disque d'aluminium, une élévation ou un abaissement de la membrane du tambour correspondant. Il s'ensuit un mouvement semblable, mais de sens inverse, dans le levier conjugué, et si celui-ci est muni d'une plume, un tracé sera obtenu. »

L'un de ces tambours est calé sur l'essieu à proximité de la roue munie de l'excentrique. Entre ce tambour et la roue est placé l'axe autour duquel le levier conjugué doit osciller. L'extrémité du levier opposée au tambour est munie d'un galet qu'un ressort à boudin maintient constamment en contact avec l'excentrique et force à en suivre tous les mouvements.

Le second tambour est placé à l'intérieur de l'appareil enregistreur appelé odographe et actionne le style inscripteur de la translation de la voiture à l'aide d'un rouage intermédiaire analogue au récepteur télégraphique de Bréguet, qui laisse passer deux dents à chaque oscillation. Il résulte donc de ce dispositif que l'excentrique, à chaque tour de roue de la voiture, produit l'échappement de deux dents du rouage et meut par suite le style. L'odographe se compose d'un cylindre vertical tournant d'une manière uniforme sous l'action de rouages d'horlogerie placés à son intérieur. Ce cylindre est couvert

de papier gradué millimétriquement; sa vitesse est calculé de façon que chaque millimètre corresponde à une durée connue, une minute par exemple.

Parallèlement à l'axe du cylindre se meut un style inscripteur portant une plume chargée d'une encre à la glycérine qui ne se dessèche pas. Ce style est conduit dans une rainure qui se trouve à la face interne d'une des colonnes de l'appareil : cette colonne est creuse et dans son intérieur est une vis qui tourne lentement et fait monter le style inscripteur. Il s'agit de commander le mouvement de la vis par celui de la roue du véhicule. Pour cela, on se sert de la soufflerie à air formée par les deux tambours décrits précédemment et réunis par un tube en caoutchouc. Chaque va-et-vient de l'air actionne la membrane dont les mouvements alternatifs commandent un encliquetage qui fait tourner la tête de la vis motrice par laquelle le style est commandé.

Une disposition particulière fait que le style une fois arrivé au sommet de la colonne, retombe au bas de celle-ci et recommence une ascension nouvelle. De cette façon, on peut écrire pendant plusieurs tours du cylindre sans que les tracés se confondent.

La rapidité avec laquelle marche le style traceur étant liée à celle de la voiture, on verra la pointe se déplacer parallèlement aux mouvements d'accélération ou de ralentissement de la voiture. Lorsque la voiture est arrêtée, le style trace un trait horizontal dont la longueur permet de juger de la durée de l'arrêt. Si la voiture est en mouvement, le style trace une courbe plus ou moins sinueuse et inclinée sur l'horizontale, suivant les variations de sa vitesse.

D'après ce qui précède, on voit que le temps est une fonction de l'abscisse et le chemin parcouru, une fonction de l'ordonnée de la courbe.

La vitesse en un point quelconque de la courbe est donc donnée par l'angle que forme la tangente à la courbe en ce point avec l'horizontale.

La planche ci-contre donne le développement du tracé obtenu sur le cylindre de l'odographe avec le cheval n° 1, le 19 décembre 1881, et représente la feuille de travail n° 7, dont le détail est page 357.

La voiture sort à 7$^h$,30 du matin et se rend sur la place, où elle

arrive à $7^h,45$. Elle y stationne jusqu'à 8 heures, heure à laquelle deux voyageurs la prennent à l'heure. Les voyageurs la quittent à 10 heures ; leur descente de la voiture est figurée par un arrêt (trait horizontal) correspondant à environ 2 minutes. Le cocher ramène alors la voiture sur la place, où il arrive à $10^h,10$. Il y séjourne jusqu'à 11 heures. Il fait ensuite une course avec 2 voyageurs, les décharge à $11^h,20$ et rejoint la place à $11^h,25$. Il y stationne jusqu'à $12^h,35$. Pendant ce temps, le cocher déjeune. A $12^h,35$, le cocher fait une course de 20 minutes avec 2 voyageurs qu'il décharge à $12^h,55$. Il revient ensuite sur la place, où il arrive à 1 heure. A $1^h,15$, il fait une course (toujours avec 2 voyageurs) jusqu'à $1^h,50$ du soir. Pendant cette course, le style, qui est arrivé à son extrême limite d'élévation, retombe instantanément au zéro et continue à enregistrer le mouvement de la voiture. Cette chute est figurée par la verticale qui, dans le tracé graphique donné, en relie les deux extrémités. A $1^h,50$, arrêt de la voiture, descente des voyageurs et à 2 heures du soir, arrivée sur la place. Stationnement jusqu'à $2^h,25$, heure à laquelle deux voyageurs prennent la voiture à l'heure. Ils la quittent à $3^h,35$ ; le cocher rabat sur la place, où il arrive à $3^h,50$. Il y séjourne jusqu'à $4^h,30$. Il est pris à l'heure jusqu'à $5^h,30$. Il rejoint la place à $5^k,40$ et y stationne jusqu'à $6^h,45$. Dans cet intervalle, le cocher a dîné. A $6^h,45$, il fait une course de 15 minutes. Pendant ce temps, le style arrive une seconde fois au sommet, retombe au zéro et continue à enregistrer les mouvements de la voiture. A 7 heures, le cocher décharge ses 2 voyageurs et rabat sur la place où il arrive à $7^h,5$. A $7^h,15$, 2 voyageurs le prennent à la course ; il marche jusqu'à $7^h,35$. Le cocher rabat de $7^h,35$ à $7^h,45$ et à $8^h,30$, il fait une course de 30 minutes jusqu'à 9 heures. Il descend les 2 voyageurs et rentre ensuite au dépôt où il arrive à $9^h,15$ du soir.

Telle est la représentation graphique du mouvement de cette voiture, le 19 décembre 1881.

Il s'agit maintenant d'évaluer le chemin qu'elle a parcouru à l'aide de la courbe représentative de son mouvement. Ce chemin est donné d'une façon tout à fait expérimentale. Pour l'obtenir, on a procédé de la façon suivante : la voiture d'expérience munie de l'odographe est conduite sur une route kilométrée et arrêtée devant une borne

kilométrique. L'odographe étant en marche et ayant marqué l'arrêt de la voiture, on part jusqu'à la borne kilométrique suivante. Arrivé à la hauteur de cette borne, on arrête. Le style a tracé une ligne plus ou moins inclinée, dont la différence des ordonnées de l'origine et de la fin de la courbe, représente graphiquement le chemin parcouru, c'est-à-dire 1 kilomètre. Cette différence est notée avec soin. On répète la même opération un grand nombre de fois, en faisant parcourir à la voiture non plus seulement 1 kilomètre, mais 3, 4 et 5 kilomètres, etc., en ayant soin de bien marquer l'arrêt entre les distances parcourues et de noter exactement la différence ordonnée des courbes, correspondantes aux chemins parcourus. Cela fait, on calcule séparément la valeur, en mètres parcourus, du millimètre ordonnée de chaque tracé ; on en fait la moyenne, et l'on obtient ainsi, pour la voiture expérimentée et l'odographe employé, la distance en mètres parcourue par la voiture, correspondant au tracé d'une courbe de 1 millimètre d'ordonnée.

Pour notre voiture d'expérience, nous avons trouvé que 1,000 mètres de chemin parcouru correspondaient à une différence d'ordonnées de $4^{mm},66$. Il en résulte que 1 millimètre d'ordonnée a une valeur égale à $214^{m},592$.

D'après cela, pour avoir le chemin parcouru, il suffira donc de déterminer en millimètres la somme des longueurs des ordonnées de la courbe tracée par le style sur le papier millimétrique, puis de multiplier cette longueur par $214^{m},592$. Pour le cas qui nous occupe on trouve que l'ordonnée totale est de $317^{mm},8$. Le chemin parcouru est donc $214^{m},592 \times 317^{m},8 = 68^{km},197$.

Pour avoir le chemin parcouru dans le rabat, il suffit de faire la somme des ordonnées correspondant à ce travail et de la multiplier par $214^{m},592$.

Il reste maintenant à évaluer le travail produit. Pour épargner le temps considérable qu'eût exigé le calcul de la courbe obtenue chaque jour par le dynamomètre enregistreur, nous nous sommes astreints à faire parcourir constamment au coupé n° 4, une même piste, disposée en forme de fer à cheval, pavée, dont la longueur était de $323^{m},25$ et dont la différence de niveau des extrémités était de $4^{m},382$. La pente moyenne était donc de $13^{mm},5$ par mètre. Les deux extrémités de la

piste n'étaient séparées que par un chemin de $34^m,80$ ayant une pente de 126 millimètres par mètre. Comme il n'était pas possible de faire passer la voiture par ce chemin, le coupé nº 4 retournait à son point de départ en revenant sur ses pas. La longueur totale de la piste, aller et retour, était donc de :

$$323^m,25 \times 2 = 646^m,50$$

Sur cette piste, M. P. Plessis, ingénieur civil, a déterminé, par un grand nombre d'expériences, la traction moyenne du coupé nº 4. Les résultats auxquels il est arrivé sont consignés dans la lettre suivante adressée à M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie générale des Voitures :

Paris, le 4 janvier 1882.

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

J'ai l'honneur de vous remettre ci-dessous les résultats de l'expérience que j'ai faite à la Manutention pour déterminer la résistance du coupé nº 4 en charge et à vide et le travail nécessaire pour effectuer la traction de cette voiture sur une piste partant de l'angle du Laboratoire et revenant au même endroit sans passer par la rampe qui côtoie la rue du Ruisseau. Cette rampe, excessivement raide, donne lieu à des efforts de traction que le dynamomètre ne peut accuser et qui troublent, par les changements de vitesse qu'ils occasionnent, les résultats des autres parties de la piste à peu près horizontale que j'ai suivie. J'ai d'ailleurs donné dans une note précédente les chiffres indiquant théoriquement les effets de cette rampe dont l'inclinaison extraordinaire ne se rencontre jamais dans la pratique de la traction des voitures. Toutes raisons pour lesquelles j'ai dû l'éviter, en faisant des circuits complets, mais en allant et revenant sur le même tracé.

**1° Voiture en charge, coupé nº 4. — 2 *voyageurs et* 1 *cocher.***
(Poids total : 669 kilogr.)

| | |
|---|---|
| 1° Longueur de la piste complète. Aller et retour . . . | $646^m,50$ |
| 2° Durée du parcours . . . . . . . . . . . . . . . | 248″ |
| 3° Vitesse moyenne par seconde . . . . . . . . . . | $2^m,60$ |
| 4° Résistance moyenne à la traction . . . . . . . . . | $26^k,01$ |
| 5° Travail moyen par seconde . . . . . . . . . . . . | $67^{k-m},61$ |
| 6° Travail en kilogrammètres pour un tour de piste complet, comprenant l'aller et le retour . . . . . | $16,815^{kgm},46$ |

**2° Voiture à vide. — 1 *cocher.***

(Poids total : 529 kilogr.)

| | |
|---|---|
| 1° Longueur de la piste. . . . . . . . . . . . . . | $646^m,50$ |
| 2° Durée du parcours . . . . . . . . . . . . . . | 261″ |
| 3° Vitesse par seconde. . . . . . . . . . . . . . | $2^m,47$ |
| 4° Résistance moyenne à la traction. . . . . . . . . | $21^k,85$ |
| 5° Travail par seconde. . . . . . . . . . . . . . | $53^{kgm},92$ |
| 6° Travail total pour un tour de piste complet . . . . | $14,113^{kgm},09$ |

Veuillez agréer, Monsieur le Président, etc.

P. Plessis.

Ainsi, la résistance moyenne à la traction est par mètre de chemin parcouru :

1° Pour la voiture en charge de $26^k,01$ ;

2° — à vide de $21^k,85$ ;

Le travail effectué sera donc égal à la somme des produits :

1° Pour la voiture en charge, au chemin parcouru multiplié par $26^k,01$ ;

2° Pour la voiture à vide (rabat), au chemin parcouru multiplié par $21^k,85$.

C'est-à-dire que pour l'expérience du 19 décembre 1881, on aura :

1° Travail produit par la voiture chargée :

$44,867 \times 26,01 =$ 1,166,990 kgrm.

2° Travail produit par la voiture à vide (rabat) :

$13,330 \times 21,85 =$ 291,260 —

Travail total. . . . 1,458,250 kgrm.

Tous les résultats qui, de cette manière, ont été obtenus pendant les expériences avec la voiture, sont consignés dans les tableaux L à LXII. (Voir p. 94 et suiv.) En raison des soins qui ont été pris pour les obtenir, ils peuvent être considérés comme des moyennes très approchées de la vérité.

### 2° Rationnement des chevaux.

#### I. *Ration de travail.*

Dans les expériences du manège et du camionnage, le cheval travaillant tous les jours recevait une ration uniforme composée de :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Foin. . . . . . | 1,568 grammes ; | soit pour 2 jours : | 3,136 grammes. |
| Paille d'avoine. . | 848 | — | 1,696 — |
| Avoine . . . . . | 2,952 | — | 5,904 — |
| Féverole. . . . . | 632 | — | 1,264 — |
| Maïs. . . . . . | 2,180 | — | 4,360 — |
| Tourteau de maïs. | 432 | — | 864 — |
| Total. . . | 8,612 grammes. | | 17,224 grammes. |

M. le Président du Conseil nous imposa pour ces essais à la voiture, les conditions suivantes :

1° Le sac de ville doit avoir la même composition que celui que reçoivent les chevaux de la Compagnie le jour de sortie ;

2° La ration totale de 2 jours, pendant les expériences à la voiture, doit être égale à celle de 2 jours pendant les expériences au manège.

Le jour de travail, le cheval faisait le premier repas à l'écurie, et recevait, en outre, sur la place 250 grammes de foin et le sac de ville composé de 4k,500 d'avoine et 500 grammes de féverole. Le jour de repos, le cheval faisait quatre repas égaux à l'écurie. Il suit de là qu'en retranchant de la ration totale de 2 jours, les 250 grammes de foin et le sac de ville consommés sur la place, le reste sera le mélange suivant, devant être consommé en cinq repas égaux :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Foin. . . . . . . . | 2,886 grammes ; | soit par repas : | 577 grammes. |
| Paille d'avoine. . . | 1,696 | — | 339 — |
| Avoine . . . . . . . | 1,404 | — | 281 — |
| Féverole . . . . . | 764 | — | 153 — |
| Maïs. . . . . . . . | 4,360 | — | 872 — |
| Tourteau . . . . . | 864 | — | 173 — |
| | | | 2,395 grammes. |

Par conséquent, le cheval à la voiture recevait :

| | LE JOUR DE TRAVAIL : 1er repas. | LE JOUR DE TRAVAIL : Sac de ville. | LE JOUR DE REPOS : 4 rations composées chacune de |
|---|---|---|---|
| Foin. . . . . . | 577 grammes. | 250 grammes. | 577 grammes. |
| Paille d'avoine . . | 339 — | » | 339 — |
| Avoine . . . . . | 281 — | 4,500 — | 281 — |
| Féverole. . . . . | 153 — | 500 — | 153 — |
| Maïs. . . . . . | 872 — | » | 872 — |
| Tourteau . . . . | 173 — | » | 173 — |
| | 2,395 grammes. | | 2,395 grammes. |

### II. *Ration de transport.*

La ration de transport est la même que celle que nous avons utilisée dans les essais au manège. Elle se composait par conséquent de :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Foin. . . . . . . | 1,148 grammes; | soit par repas : | 287 grammes. | |
| Paille d'avoine. . . | 620 | — | 155 | — |
| Avoine. . . . . . . | 2,164 | — | 541 | — |
| Féverole. . . . . . | 464 | — | 116 | — |
| Maïs. . . . . . . . | 1,600 | — | 400 | — |
| Tourteau . . . . . | 316 | — | 79 | — |
| Total. . . . | 6,312 grammes. | | 1,578 grammes. | |

### III. *Ration d'entretien.*

Pendant les essais à la voiture, nous avons expérimenté deux rations d'entretien : d'abord la ration qui nous avait servi pendant les expériences au manège, et qui était composée de :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Foin. . . . . . . | 1,044 grammes; | soit par repas : | 261 grammes. | |
| Paille d'avoine . . . | 564 | — | 141 | — |
| Avoine . . . . . . . | 1,968 | — | 492 | — |
| Féverole. . . . . . | 420 | — | 105 | — |
| Maïs. . . . . . . . | 1,452 | — | 363 | — |
| Tourteau de maïs. . | 288 | — | 72 | — |
| Total. . . . | 5,736 grammes. | | 1,434 grammes. | |

En second lieu, la ration suivante, dans laquelle les quantités des divers fourrages sont inférieures de $^1/_{10}$ aux quantités des mêmes fourrages de la ration ci-dessus :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Foin. . . . . . . | 940 grammes; | soit par repas : | 235 grammes | |
| Paille d'avoine. . . | 508 | — | 127 | — |
| Avoine . . . . . . . | 1,772 | — | 443 | — |
| Féverole . . . . . | 380 | — | 95 | — |
| Maïs. . . . . . . . | 1,308 | — | 327 | — |
| Tourteau de maïs. . | 260 | — | 65 | — |
| Total. . . . . | 5,168 grammes. | | 1,292 grammes. | |

### COMPOSITION CENTÉSIMALE DES FOURRAGES.

Les fourrages utilisés dans les expériences à la voiture avaient les compositions suivantes :

## COMPOSITION CENTÉSIMALE IMMÉDIATE DES FOURRAGES.

| ANALYSE N° | FOURRAGE. | CONSOMMÉ. | EAU. | CENDRES privées de $CO^2$. | GLUCOSE. | CEL-LULOSE. | AMIDON. | GRAISSE. | MATIÈRE azotée. | INDÉ-TERMI-NÉS. | TOTAL. | AZOTE p. 100. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | Maïs. | Du 1er décembre 1881 au 31 janvier 1882. . . | 12.71 | 1.50 | 1.27 | 1.45 | 63.88 | 1.01 | 9.94 | 5.21 | 100.00 | 1.59 |
| 32 | Tourteau. | Du 1er décembre 1881 au 31 janvier 1882 . . | 10.24 | 0.88 | 0.25 | 1.05 | 50.28 | 9.28 | 19.19 | 8.83 | 100.00 | 3.07 |
| 33 | Avoine. | Du 1er décembre 1881 au 31 janvier 1882. . . | 12.70 | 3.72 | 0.97 | 7.55 | 46.78 | 4.94 | 10.34 | 13.00 | 100.00 | 1.65 |
| 34 | Féverole. | Du 1er décembre 1881 au 31 janvier 1882 . . | 8.43 | 5.43 | 1.36 | 6.60 | 48.26 | 1.24 | 27.32 | 1.36 | 100.00 | 4.37 |
| 35 | Foin. | Du 1er décembre 1881 au 31 mars 1882. . . . | 14.80 | 7.39 | 0.40 | 19.51 | 27.89 | 1.38 | 7.36 | 21.27 | 100.00 | 1.18 |
| 36 | Paille. | Du 1er décembre 1881 au 31 janvier 1882 . . | 13.15 | 8.74 | 0.15 | 27.14 | 26.22 | 1.06 | 2.70 | 20.84 | 100.00 | 0.43 |
| 37 | Paille. | Du 1er février au 12 août 1882 . . . . . . . | 18.14 | 4.78 | 0.18 | 25.05 | 24.15 | 1.80 | 2.55 | 23.35 | 100.00 | 0.41 |
| 38 | Maïs. | Du 1er février au 12 août 1882. . . . . . . . | 12.43 | 1.37 | 1.43 | 1.20 | 66.56 | 3.78 | 9.64 | 3.59 | 100.00 | 1.54 |
| 39 | Féverole. | Du 1er février au 12 août 1882. . . . . . . . | 10.20 | 4.76 | 1.13 | 5.30 | 42.63 | 1.40 | 28.13 | 6.45 | 100.00 | 4.50 |
| 40 | Tourteau. | Du 1er février au 12 août 1882 . . . . . . . | 13.60 | 0.90 | 0.27 | 3.05 | 50.95 | 7.83 | 19.19 | 4.21 | 100.00 | 3.07 |
| 41 | Avoine. | Du 1er février au 12 août 1882 . . . . . . . | 12.40 | 3.12 | 0.97 | 9.50 | 45.60 | 4.13 | 10.12 | 11.16 | 100.00 | 1.62 |
| 42 | Foin. | Du 12 avril au 12 août 1882. . . . . . . . . | 13.29 | 7.45 | 1.69 | 18.82 | 26.13 | 1.51 | 7.92 | 23.16 | 100.00 | 1.27 |

COMPOSITION CENTÉSIMALE ÉLÉMENTAIRE DE LA SUBSTANCE ORGANIQUE DES FOURRAGES.

| ÉLÉMENTS. | MAÏS. Analyse n° 31. | TOURTEAU. Analyse n° 32. | AVOINE. Analyse n° 33. | FÉVEROLE. Analyse n° 34. | FOIN. Analyse n° 35. | PAILLE. Analyse n° 36. | PAILLE. Analyse n° 37. | MAÏS. Analyse n° 38. | FÉVEROLE. Analyse n° 39. | TOURTEAU. Analyse n° 40. | AVOINE. Analyse n° 41. | FOIN. Analyse n° 42. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Carbone . . | 46.24 | 49.83 | 47.58 | 47.57 | 48.80 | 49.75 | 48.94 | 46.62 | 46.67 | 48.76 | 48.11 | 49.66 |
| Hydrogène . | 6.34 | 6.42 | 6.47 | 6.46 | 5.89 | 5.66 | 6.26 | 6.42 | 6.62 | 6.61 | 6.09 | 5.81 |
| Azote. . . . | 1.85 | 3.45 | 1.97 | 5.07 | 1.51 | 0.55 | 0.53 | 1.78 | 5.29 | 5.59 | 1.91 | 1.60 |
| Oxygène . . | 45.57 | 40.30 | 43.98 | 40.90 | 43.80 | 44.04 | 44.27 | 45.18 | 41.42 | 41.04 | 43.89 | 42.93 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

COMPOSITION IMMÉDIATE ET ÉLÉMENTAIRE DES RATIONS.

De la composition immédiate et élémentaire des fourrages, on déduit la composition immédiate et élémentaire des rations données dans les tableaux suivants :

COMPOSITION IMMÉDIATE DE LA RATION JOURNALIÈRE DE TRAVAIL.

| FOURRAGES. | EAU. | SUBSTANCE sèche. | CENDRES. | SUBSTANCE organique. | GLUCOSE. | CELLULOSE. | AMIDON. | GRAISSE. | MATIÈRE azotée. | INDÉTERMINÉS. | AZOTE. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| **Du 1er décembre 1881 au 31 janvier 1882 inclus. (Cheval n° 1.)** | | | | | | | | | | | |
| I. Du jour de sortie. — 1° *Premier repas.* | | | | | | | | | | | |
| 577 gr. Foin contenant. | 85.39 | 491.61 | 42.64 | 448.97 | 2.31 | 112.57 | 160.93 | 7.96 | 42.47 | 122.73 | 6.81 |
| 339 gr. Paille. . . . | 44.58 | 294.42 | 29.63 | 264.79 | 0.51 | 92.00 | 88.89 | 3.59 | 9.15 | 70.65 | 1.46 |
| 281 gr. Avoine . . . | 35.69 | 245.31 | 10.45 | 234.86 | 2.73 | 21.22 | 131.45 | 13.88 | 29.06 | 36.52 | 4.61 |
| 153 gr. Féverole . . | 12.90 | 140.10 | 8.31 | 131.79 | 2.08 | 10.10 | 73.84 | 1.90 | 41.80 | 2.07 | 6.68 |
| 872 gr. Maïs . . . . | 110.83 | 761.17 | 13.08 | 748.09 | 11.07 | 12.64 | 557.03 | 35.23 | 86.67 | 45.45 | 13.86 |
| 173 gr. Tourteau . . | 17.71 | 155.29 | 1.52 | 153.77 | 0.43 | 1.82 | 86.98 | 16.05 | 33.20 | 15.29 | 5.31 |
| 2,395 gr . . . . . . | 307.10 | 2087.90 | 105.63 | 1982.27 | 19.13 | 250.35 | 1099.12 | 78.61 | 242.35 | 292.71 | 38.76 |
| 2° *Sac de ville.* | | | | | | | | | | | |
| 250 gr. Foin contenant. | 37.00 | 213.00 | 18.47 | 194.53 | 1.00 | 48.78 | 69.73 | 3.45 | 18.40 | 53.17 | 2.95 |
| 4,500 gr. Avoine . . . | 571.50 | 3928.50 | 167.10 | 3761.10 | 43.65 | 339.75 | 2105.10 | 222.30 | 465.30 | 585.00 | 74.25 |
| 500 gr. Féverole . . | 42.15 | 457.85 | 27.15 | 430.70 | 6.80 | 33.00 | 241.30 | 6.20 | 136.60 | 6.80 | 21.85 |
| 7,615 gr . . . . . . . | 957.75 | 6687.25 | 318.65 | 6368.60 | 70.58 | 671.88 | 3515.25 | 310.56 | 862.65 | 937.68 | 137.81 |
| II. Du jour de repos. | | | | | | | | | | | |
| 9,580 gr.. . . . . . . | 1228.40 | 8351.60 | 422.52 | 7929.08 | 76.52 | 1001.40 | 4396.48 | 314.44 | 969.40 | 1170.84 | 155.04 |

COMPOSITION IMMÉDIATE DE LA RATION JOURNALIÈRE DE TRAVAIL (*suite*).

| FOURRAGES. | EAU. | SUBSTANCE sèche. | CENDRES. | SUBSTANCE organique. | GLUCOSE. | CELLULOSE. | AMIDON. | GRAISSE. | MATIÈRE azotée. | INDÉTERMINÉS. | AZOTE. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| **Du 1er février au 31 mars 1882 inclus. (Cheval n° 2.)** | | | | | | | | | | | |
| I. DU JOUR DE SORTIE. — 1° *Premier repas.* | | | | | | | | | | | |
| 577 gr. Foin contenant. | 85.39 | 491.61 | 42.64 | 448.97 | 2.31 | 112.57 | 160.93 | 7.96 | 12.47 | 122.73 | 6.81 |
| 339 gr. Paille. . . . | 61.49 | 277.51 | 16.20 | 261.31 | 0.61 | 84.92 | 81.87 | 6.10 | 8.61 | 79.17 | 1.39 |
| 281 gr. Avoine . . . | 31.84 | 246.16 | 8.77 | 237.39 | 2.73 | 26.69 | 128.14 | 11.61 | 28.44 | 39.78 | 1.55 |
| 153 gr. Féverole . . | 15.61 | 137.39 | 7.28 | 130.11 | 1.73 | 8.11 | 65.22 | 2.14 | 43.01 | 9.87 | 6.88 |
| 872 gr. Maïs . . . . | 108.39 | 793.61 | 11.95 | 751.66 | 12.47 | 10.46 | 580.40 | 32.96 | 81.06 | 31.31 | 13.43 |
| 173 gr. Tourteau. . | 23.53 | 149.47 | 1.56 | 147.91 | 0.46 | 5.28 | 88.14 | 13.55 | 33.20 | 7.28 | 5.31 |
| 2,395 gr . . . . . . . . | 329.25 | 2065.75 | 88.40 | 1977.35 | 20.31 | 248.03 | 1104.70 | 74.32 | 239.85 | 290.14 | 38.37 |
| 2° *Sac de ville.* | | | | | | | | | | | |
| 250 gr. Foin contenant. | 37.00 | 213.00 | 18.47 | 194.53 | 1.00 | 48.78 | 69.73 | 3.45 | 18.40 | 53.17 | 2.95 |
| 4,500 gr. Avoine . . . | 558.00 | 3942.00 | 140.40 | 3801.60 | 43.65 | 427.50 | 2052.00 | 185.85 | 455.40 | 637.20 | 72.90 |
| 500 gr. Féverole . . | 51.00 | 449.00 | 23.80 | 425.20 | 5.65 | 26.50 | 213.15 | 7.00 | 140.65 | 32.25 | 22.50 |
| 7,645 gr . . . . . . . | 975.25 | 6669.75 | 271.07 | 6398.68 | 70.61 | 750.81 | 3439.58 | 270.62 | 854.30 | 1012.76 | 136.72 |
| II. DU JOUR DE REPOS. | | | | | | | | | | | |
| 9,580 gr . . . . . . . | 1317.00 | 8263.00 | 353.60 | 7909.40 | 81.21 | 992.12 | 4418.80 | 297.28 | 959.40 | 1160.56 | 153.48 |
| **Du 12 avril au 12 août 1882 inclus. (Chevaux n° 3 et n° 1.)** | | | | | | | | | | | |
| I. DU JOUR DE SORTIE. — 1° *Premier repas.* | | | | | | | | | | | |
| 577 gr. Foin contenant. | 76.68 | 500.32 | 42.99 | 457.33 | 9.75 | 108.59 | 150.77 | 8.88 | 45.70 | 133.61 | 7.33 |
| 339 gr. Paille. . . . | 61.49 | 277.51 | 16.20 | 261.31 | 0.61 | 84.92 | 81.87 | 6.10 | 8.61 | 79.17 | 1.39 |
| 281 gr. Avoine . . . | 31.84 | 246.16 | 8.77 | 237.39 | 2.73 | 26.69 | 128.14 | 11.61 | 28.44 | 39.78 | 1.55 |
| 153 gr. Féverole . . | 15.61 | 137.39 | 7.28 | 130.11 | 1.73 | 8.11 | 65.22 | 2.14 | 43.01 | 9.87 | 6.88 |
| 872 gr. Maïs . . . . | 108.39 | 763.61 | 11.95 | 751.66 | 12.47 | 10.46 | 580.40 | 32.96 | 81.06 | 31.31 | 13.43 |
| 173 gr. Tourteau . . | 23.53 | 149.47 | 1.56 | 147.91 | 0.46 | 5.28 | 88.14 | 13.55 | 33.20 | 7.28 | 5.31 |
| 2,395 gr . . . . . . . | 320.54 | 2074.46 | 88.75 | 1985.71 | 27.75 | 241.05 | 1094.54 | 75.24 | 243.08 | 301.05 | 38.89 |
| 2° *Sac de ville.* | | | | | | | | | | | |
| 250 gr. Foin contenant. | 33.22 | 216.78 | 18.62 | 198.16 | 4.23 | 47.05 | 65.33 | 3.85 | 19.80 | 57.90 | 3.17 |
| 4,500 gr. Avoine . . . | 558.00 | 3942.00 | 140.40 | 3801.60 | 43.65 | 427.50 | 2052.00 | 185.85 | 455.40 | 637.20 | 72.90 |
| 500 gr. Féverole . . | 51.00 | 449.00 | 23.80 | 425.20 | 5.65 | 26.50 | 213.15 | 7.00 | 140.65 | 32.25 | 22.50 |
| 7,645 gr . . . . . . . | 962.76 | 6682.24 | 271.57 | 6410.67 | 81.28 | 745.10 | 3425.02 | 271.91 | 858.93 | 1028.40 | 137.46 |
| II. DU JOUR DE REPOS. | | | | | | | | | | | |
| 9,580 gr. . . . . . . | 1282.16 | 8297.84 | 355.00 | 7942.84 | 111.00 | 976.20 | 4378.16 | 300.96 | 990.32 | 1186.20 | 155.56 |

COMPOSITION IMMÉDIATE DE LA RATION JOURNALIÈRE DE TRANSPORT.

| FOURRAGES. | EAU. | SUBSTANCE sèche. | CENDRES. | SUBSTANCE organique. | GLUCOSE. | CELLULOSE. | AMIDON. | GRAISSE. | MATIÈRE azotée. | INDÉTERMINÉS. | AZOTE. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| **Du 1er décembre 1881 au 31 janvier 1882 inclus. (Cheval n° 2.)** | | | | | | | | | | | |
| 1,148 gr. Foin contenant. | 169.90 | 978.10 | 84.84 | 893.26 | 4.59 | 223.97 | 320.18 | 15.84 | 84.49 | 244.19 | 13.55 |
| 620 gr. Paille . . . | 81.53 | 538.47 | 54.19 | 484.28 | 0.93 | 168.27 | 162.56 | 6.57 | 16.74 | 129.21 | 2.67 |
| 2,164 gr. Avoine. . . | 274.83 | 1889.17 | 80.50 | 1808.67 | 20.99 | 163.38 | 1013.32 | 106.90 | 223.76 | 280.32 | 35.71 |
| 464 gr. Féverole . . | 39.11 | 424.89 | 25.19 | 399.70 | 6.31 | 30.62 | 223.93 | 5.75 | 126.76 | 6.33 | 20.27 |
| 1,600 gr. Maïs . . . . | 203.36 | 1396.64 | 24.00 | 1372.64 | 20.32 | 23.20 | 1022.08 | 64.64 | 159.04 | 83.36 | 25.44 |
| 316 gr. Tourteau . . | 32.36 | 283.64 | 2.78 | 280.86 | 0.79 | 3.32 | 158.88 | 29.24 | 60.64 | 27.99 | 9.70 |
| 6,312 gr . . . . . . . | 801.09 | 5510.91 | 271.50 | 5239.41 | 53.93 | 612.76 | 2900.95 | 228.94 | 671.43 | 771.40 | 107.34 |
| **Du 12 avril au 12 juin 1882 inclus. (Cheval n° 1.)** | | | | | | | | | | | |
| 1,148 gr. Foin contenant. | 152.57 | 995.43 | 85.53 | 909.90 | 19.40 | 216.05 | 298.97 | 17.68 | 90.92 | 265.88 | 14.58 |
| 620 gr. Paille . . . | 112.46 | 507.54 | 29.63 | 477.91 | 1.11 | 155.31 | 149.73 | 11.56 | 15.80 | 144.40 | 2.54 |
| 2,164 gr. Avoine. . . | 268.30 | 1895.70 | 67.53 | 1828.17 | 21.02 | 195.54 | 976.81 | 89.41 | 219.02 | 326.37 | 35.06 |
| 464 gr. Féverole . . | 47.34 | 416.66 | 22.08 | 394.58 | 5.25 | 24.60 | 197.79 | 6.49 | 130.53 | 29.92 | 20.88 |
| 1,600 gr. Maïs . . . . | 198.88 | 1401.12 | 21.93 | 1379.19 | 22.88 | 19.19 | 1064.96 | 60.48 | 154.24 | 57.44 | 21.64 |
| 316 gr. Tourteau . . | 42.98 | 273.02 | 2.85 | 270.17 | 0.84 | 9.64 | 160.99 | 21.75 | 60.64 | 13.31 | 9.70 |
| 6,312 gr . . . . . . . | 822.53 | 5489.47 | 229.55 | 5259.92 | 70.50 | 620.33 | 2850.25 | 210.37 | 671.15 | 837.32 | 107.40 |

COMPOSITION IMMÉDIATE DE LA RATION JOURNALIÈRE D'ENTRETIEN.

| FOURRAGES. | EAU. | SUBSTANCE sèche. | CENDRES. | SUBSTANCE organique. | GLUCOSE. | CELLULOSE. | AMIDON. | GRAISSE. | MATIÈRE azotée. | INDÉTERMINÉS. | AZOTE. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| **Du 1er décembre 1881 au 31 janvier 1882 inclus. (Cheval n° 3.)** | | | | | | | | | | | |
| 1,014 gr. Foin contenant. | 154.51 | 889.49 | 77.15 | 812.34 | 4.18 | 203.68 | 291.17 | 14.11 | 76.84 | 222.06 | 12.32 |
| 564 gr. Paille . . . | 74.17 | 489.83 | 49.29 | 440.54 | 0.84 | 153.07 | 147.88 | 5.98 | 15.23 | 117.51 | 2.43 |
| 1,968 gr. Avoine. . . | 249.94 | 1718.06 | 73.21 | 1644.85 | 19.09 | 148.58 | 920.63 | 97.22 | 203.19 | 255.84 | 32.47 |
| 420 gr. Féverole . . | 35.41 | 384.59 | 22.81 | 361.78 | 5.71 | 27.72 | 202.69 | 5.21 | 114.74 | 5.71 | 18.35 |
| 1,452 gr. Maïs . . . . | 184.55 | 1267.45 | 21.78 | 1245.67 | 18.41 | 21.05 | 927.54 | 58.66 | 144.33 | 75.65 | 23.08 |
| 288 gr. Tourteau. . | 29.49 | 258.51 | 2.53 | 255.98 | 0.72 | 3.02 | 144.81 | 26.73 | 55.27 | 25.45 | 8.84 |
| 5,736 gr . . . . . . . | 728.07 | 5007.93 | 216.77 | 4761.16 | 48.98 | 557.12 | 2634.72 | 208.21 | 609.90 | 702.23 | 97.49 |

COMPOSITION IMMÉDIATE DE LA RATION JOURNALIÈRE D'ENTRETIEN (*suite*).

| FOURRAGES. | EAU. | SUBSTANCE sèche. | CENDRES. | SUBSTANCE organique. | GLUCOSE. | CELLULOSE. | AMIDON. | GRAISSE. | MATIÈRE azotée. | INDÉTERMINÉS. | AZOTE. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| **Du 1er février au 31 mars 1882 inclus. (Cheval nº 3.)** | | | | | | | | | | | |
| 940 gr. Foin contenant. | 139.12 | 800.88 | 69.47 | 731.41 | 3.76 | 183.39 | 262.17 | 12.97 | 69.18 | 199.91 | 11.09 |
| 508 gr. Paille. . . . | 92.15 | 415.85 | 21.28 | 391.57 | 0.91 | 127.27 | 122.68 | 9.11 | 12.95 | 118.64 | 2.08 |
| 1,772 gr. Avoine. . . | 219.73 | 1552.27 | 55.28 | 1496.99 | 17.19 | 168.31 | 808.03 | 73.18 | 179.33 | 250.92 | 28.71 |
| 380 gr. Féverole . . | 38.76 | 341.24 | 18.09 | 323.15 | 4.29 | 20.14 | 161.99 | 5.32 | 106.89 | 24.52 | 17.10 |
| 1,308 gr. Maïs . . . . | 162.58 | 1145.42 | 17.92 | 1127.50 | 18.70 | 15.69 | 870.60 | 49.44 | 126.09 | 46.98 | 20.14 |
| 260 gr. Tourteau. . | 35.36 | 224.64 | 2.34 | 222.30 | 0.70 | 7.93 | 132.47 | 20.36 | 49.89 | 10.95 | 7.98 |
| 5,168 gr . . . . . . . | 687.70 | 4480.30 | 187.38 | 4292.92 | 45.55 | 522.74 | 2357.94 | 170.41 | 544.33 | 651.95 | 87.10 |
| **Du 1er février au 11 avril 1882 inclus. (Cheval nº 1.)** | | | | | | | | | | | |
| 1,014 gr. Foin contenant. | 151.51 | 889.49 | 77.15 | 812.34 | 4.18 | 203.68 | 291.17 | 14.41 | 76.84 | 222.06 | 12.32 |
| 564 gr. Paille . . . | 102.31 | 461.69 | 26.96 | 434.73 | 1.01 | 141.28 | 136.21 | 10.15 | 14.38 | 131.70 | 2.31 |
| 1,968 gr. Avoine. . . | 244.03 | 1723.97 | 61.40 | 1662.57 | 19.09 | 186.96 | 897.41 | 81.28 | 199.16 | 278.67 | 31.88 |
| 420 gr. Féverole . . | 42.84 | 377.16 | 19.99 | 357.17 | 4.74 | 22.26 | 179.05 | 51.88 | 118.15 | 27.09 | 18.90 |
| 1,152 gr. Maïs . . . . | 180.48 | 1271.52 | 19.89 | 1251.63 | 20.76 | 17.42 | 966.45 | 5.88 | 139.97 | 52.15 | 22.36 |
| 288 gr. Tourteau. . | 39.17 | 248.83 | 2.59 | 246.24 | 0.77 | 8.78 | 146.74 | 22.55 | 55.27 | 12.13 | 8.84 |
| 5,736 gr. . . . . . . | 763.34 | 4972.66 | 207.98 | 4764.68 | 50.55 | 580.38 | 2617.03 | 189.15 | 603.77 | 723.80 | 96.61 |
| **Du 12 avril au 20 juin 1882 inclus. (Cheval nº 2.)** | | | | | | | | | | | |
| 1,044 gr. Foin contenant. | 138.75 | 905.25 | 77.78 | 827.47 | 17.64 | 196.48 | 272.80 | 16.08 | 82.68 | 241.79 | 13.26 |
| 564 gr. Paille . . . | 102.31 | 461.69 | 26.96 | 434.73 | 1.01 | 141.28 | 136.21 | 10.15 | 14.38 | 131.70 | 2.31 |
| 1,968 gr. Avoine . . . | 244.03 | 1723.97 | 61.40 | 1662.57 | 19.09 | 186.96 | 897.41 | 81.28 | 199.16 | 278.67 | 31.88 |
| 420 gr. Féverole . . | 42.84 | 377.16 | 19.99 | 357.17 | 4.74 | 22.26 | 179.05 | 5.88 | 118.15 | 27.09 | 18.90 |
| 1,152 gr. Maïs . . . . | 180.48 | 1271.52 | 19.89 | 1251.63 | 20.76 | 17.42 | 966.45 | 51.88 | 139.97 | 52.15 | 22 36 |
| 288 gr. Tourteau . . | 39.17 | 248.83 | 2.59 | 246.24 | 0.77 | 8.78 | 146.74 | 22.55 | 55.27 | 12.13 | 8.84 |
| 5,736 gr . . . . . . . | 747.58 | 4988.42 | 208.61 | 4779.81 | 61.01 | 573.18 | 2598.66 | 190.82 | 609.61 | 743.53 | 97.55 |
| **Du 21 juin au 12 août 1882 inclus. (Chevaux nos 2 et 3.)** | | | | | | | | | | | |
| 940 gr. Foin contenant. | 124.93 | 815.07 | 70.03 | 745.04 | 15.88 | 176.91 | 245.62 | 14.47 | 74.45 | 217.71 | 11.91 |
| 508 gr. Paille . . . | 92.15 | 415.85 | 21.28 | 391.57 | 0.91 | 127.25 | 122.68 | 9.14 | 12.95 | 118.64 | 2.08 |
| 1,772 gr. Avoine. . . | 219.73 | 1552.27 | 55.28 | 1496.99 | 17.19 | 168.31 | 808.03 | 73.18 | 179.33 | 250.92 | 28.71 |
| 380 gr. Féverole . . | 38.76 | 341.24 | 18.09 | 323.15 | 4.29 | 20.14 | 161.99 | 5.32 | 106.89 | 24.52 | 17.10 |
| 1,308 gr. Maïs . . . . | 162.58 | 1145.42 | 17.92 | 1127.50 | 18.70 | 15.69 | 870.60 | 49.44 | 126.09 | 46.98 | 20.14 |
| 260 gr. Tourteau. . | 35.36 | 224.64 | 2.34 | 222.30 | 0.70 | 7.93 | 132.47 | 20.36 | 49.89 | 10.95 | 7.98 |
| 5,168 gr . . . . . . . | 673.51 | 4494.49 | 187.94 | 4306.55 | 57.67 | 516.26 | 2341.39 | 171.91 | 549.60 | 669.72 | 87.95 |

## COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE DE LA RATION JOURNALIÈRE DE TRAVAIL.

| FOURRAGES. | DU 1er DÉCEMBRE 1881 AU 31 JANVIER 1882 INCLUS. | | | | | DU 1er FÉVRIER AU 31 MARS 1882 INCLUS. | | | | | DU 12 AVRIL AU 12 AOUT 1882 INCLUS. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Carbone. | Hydrogène. | Azote. | Oxygène. | Substance organique. | Carbone. | Hydrogène. | Azote. | Oxygène. | Substance organique. | Carbone. | Hydrogène. | Azote. | Oxygène. | Substance organique. |
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| **I. Du jour de sortie. — 1° *Premier repas.*** | | | | | | | | | | | | | | | |
| 577 gr. Foin | 219.40 | 26.44 | 6.81 | 196.62 | 448.97 | 219.10 | 26.14 | 6.81 | 196.62 | 448.97 | 227.11 | 26.57 | 7.33 | 196.32 | 457.33 |
| 339 gr. Paille | 131.73 | 14.99 | 1.46 | 116.61 | 264.79 | 127.88 | 16.36 | 1.39 | 115.68 | 261.31 | 127.83 | 16.36 | 1.39 | 115.68 | 261.31 |
| 281 gr. Avoine | 111.75 | 15.19 | 4.64 | 103.28 | 234.86 | 114.21 | 14.46 | 4.55 | 104.17 | 237.39 | 114.21 | 14.46 | 4.55 | 104.17 | 237.39 |
| 153 gr. Féverole | 62.69 | 8.51 | 6.68 | 53.91 | 131.79 | 60.72 | 8.61 | 6.88 | 53.90 | 130.11 | 60.72 | 8.61 | 6.88 | 53.90 | 130.11 |
| 872 gr. Maïs | 345.92 | 47.43 | 13.86 | 340.88 | 748.09 | 350.42 | 48.26 | 13.43 | 339.55 | 751.66 | 350.42 | 48.26 | 18.43 | 339.55 | 751.66 |
| 173 gr. Tourteau | 76.62 | 9.87 | 5.31 | 61.97 | 153.77 | 72.12 | 9.78 | 5.31 | 60.70 | 117.91 | 72.12 | 9.79 | 5.31 | 60.70 | 147.91 |
| 2,395 gr. | 917.81 | 122.43 | 38.76 | 873.27 | 1982.27 | 941.45 | 123.91 | 38.37 | 870.62 | 1977.35 | 952.46 | 124.04 | 38.89 | 870.32 | 1985.71 |
| **2° *Sac de ville.*** | | | | | | | | | | | | | | | |
| 250 gr. Foin | 94.93 | 11.46 | 2.95 | 85.19 | 191.53 | 94.93 | 11.46 | 2.95 | 85.19 | 191.53 | 98.41 | 11.51 | 3.17 | 85.07 | 198.16 |
| 1,500 gr. Avoine | 1789.53 | 243.34 | 71.25 | 1653.98 | 3761.10 | 1828.95 | 231.52 | 72.90 | 1668.23 | 3801.60 | 1828.95 | 231.52 | 72.90 | 1668.23 | 3801.60 |
| 500 gr. Féverole | 204.88 | 27.82 | 21.85 | 176.15 | 430.70 | 233.35 | 33.10 | 22.50 | 136.25 | 425.20 | 233.35 | 33.10 | 22.50 | 136.25 | 425.20 |
| 7,645 gr. Total général | 3037.15 | 405.05 | 137.81 | 2788.59 | 6368.60 | 3101.68 | 399.99 | 136.72 | 2760.29 | 6398.68 | 3113.17 | 400.17 | 137.46 | 2759.87 | 6410.67 |
| **II. Du jour de repos.** | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9,580 gr. | 3791.24 | 189.72 | 155.01 | 3193.08 | 7929.08 | 3777.80 | 495.64 | 153.48 | 3482.48 | 7909.40 | 3809.84 | 496.16 | 155.56 | 3481.28 | 7942.84 |

COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE DE LA RATION JOURNALIÈRE DE TRANSPORT.

| FOURRAGES. | DU 1er DÉCEMBRE 1881 AU 31 JANVIER 1882 INCLUS. | | | | | DU 12 AVRIL AU 12 JUIN 1882 INCLUS. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Carbone. | Hydrogène. | Azote. | Oxygène. | Substance organique. | Carbone. | Hydrogène. | Azote. | Oxygène. | Substance organique. |
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| 1,118 gr. Foin | 435.91 | 52.61 | 13.55 | 391.19 | 893.26 | 451.86 | 52.86 | 14.58 | 390.60 | 909.90 |
| 620 gr. Paille | 240.93 | 27.41 | 2.67 | 213.27 | 484.28 | 233.89 | 29.91 | 2.51 | 211.57 | 477.91 |
| 2,161 gr. Avoine | 860.57 | 117.02 | 35.71 | 795.37 | 1808.67 | 879.53 | 111.33 | 35.06 | 802.25 | 1828.17 |
| 461 gr. Féverole | 190.14 | 25.82 | 20.27 | 163.47 | 399.70 | 184.15 | 26.12 | 20.88 | 163.43 | 394.58 |
| 1,600 gr. Maïs | 631.71 | 87.02 | 25.44 | 625.47 | 1372.64 | 642.98 | 88.54 | 21.64 | 623.03 | 1379.19 |
| 316 gr. Tourteau | 139.95 | 18.03 | 9.70 | 113.18 | 280.86 | 131.73 | 17.86 | 9.70 | 110.88 | 270.17 |
| 6,312 gr. | 2502.21 | 327.91 | 107.34 | 2301.95 | 5239.41 | 2524.14 | 326.62 | 107.40 | 2301.76 | 5259.92 |

COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE DE LA RATION JOURNALIÈRE D'ENTRETIEN.

| FOURRAGES. | Du 1er décembre 1881 au 31 janvier 1882. CHEVAL N° 3. | | | | | Du 1er février au 31 mars 1881 inclus. CHEVAL N° 1. | | | | | Du 12 avril au 20 juin 1882 inclus. CHEVAL N° 2. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Carbone. | Hydrogène. | Azote. | Oxygène. | Substance organique. | Carbone. | Hydrogène. | Azote. | Oxygène. | Substance organique. | Carbone. | Hydrogène. | Azote. | Oxygène. | Substance organique. |
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| 1,044 gr. Foin | 396.42 | 47.85 | 12.32 | 355.75 | 812.34 | 396.42 | 47.85 | 12.32 | 355.75 | 812.34 | 410.92 | 48.07 | 13.26 | 355.22 | 827.47 |
| 561 gr. Paille | 219.17 | 24.93 | 2.43 | 194.01 | 410.54 | 212.76 | 27.21 | 2.31 | 192.45 | 431.73 | 212.76 | 27.21 | 2.31 | 192.45 | 431.73 |
| 1,968 gr. Avoine | 782.62 | 106.42 | 32.17 | 723.34 | 1644.85 | 799.86 | 101.25 | 31.88 | 729.58 | 1662.57 | 799.86 | 101.25 | 31.88 | 729.58 | 1662.57 |
| 420 gr. Féverole | 172.10 | 23.37 | 18.35 | 147.96 | 361.78 | 166.69 | 23.64 | 18.90 | 147.94 | 357.17 | 166.69 | 23.64 | 18.90 | 147.94 | 357.17 |
| 1,152 gr. Maïs | 576.00 | 78.97 | 23.08 | 567.62 | 1215.67 | 583.51 | 80.35 | 22.36 | 565.41 | 1251.63 | 583.51 | 80.35 | 22.36 | 565.41 | 1251.63 |
| 288 gr. Tourteau | 127.55 | 16.43 | 8.81 | 103.16 | 255.98 | 120.07 | 16.28 | 8.81 | 101.05 | 246.24 | 120.07 | 16.28 | 8.81 | 101.05 | 246.21 |
| 5,736 gr. | 2273.86 | 297.97 | 97.49 | 2091.81 | 4761.16 | 2279.31 | 296.58 | 96 61 | 2092.18 | 4761.68 | 2293.81 | 296.84 | 97.55 | 2091.65 | 4779.81 |

COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE DE LA RATION JOURNALIÈRE D'ENTRETIEN.

| FOURRAGES. | Du 1er février au 31 mars 1882 inclus. CHEVAL N° 3. | | | | | Du 21 juin au 12 août 1882 inclus. CHEVAUX N° 2 ET N° 3. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Carbone. | Hydrogène. | Azote. | Oxygène. | Substance organique. | Carbone. | Hydrogène. | Azote. | Oxygène. | Substance organique. |
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| 910 gr. Foin . . . . | 356.93 | 43.08 | 11.09 | 320.31 | 731.41 | 369.99 | 43.29 | 11.94 | 319.82 | 745.01 |
| 508 gr. Paille. . . . | 191.63 | 21.51 | 2.08 | 173.35 | 391.57 | 191.63 | 21.51 | 2.08 | 173.35 | 391.57 |
| 1,772 gr. Avoine . . . | 720.20 | 91.17 | 28.71 | 656.91 | 1196.99 | 720.20 | 91.17 | 28.71 | 656.91 | 1496.99 |
| 380 gr. Féverole . . | 150.81 | 21.39 | 17.10 | 133.85 | 323.15 | 150.81 | 21.39 | 17.10 | 133.85 | 323.15 |
| 1,308 gr. Maïs . . . . | 525.64 | 72.38 | 20.14 | 509.34 | 1127.50 | 525.61 | 72.38 | 20.11 | 509.31 | 1127.50 |
| 260 gr. Tourteau . . | 108.39 | 11.69 | 7.98 | 91.24 | 222.30 | 108.39 | 14.69 | 7.98 | 91.24 | 222.30 |
| 5,168 gr . . . . . . . | 2053.60 | 267.22 | 87.10 | 1835.00 | 4292.92 | 2066.66 | 267.43 | 87.95 | 1884.51 | 4306.55 |

Dans ces expériences, il n'y a pas eu de mélange laissé par les chevaux. Il est vrai qu'en passant de la ration d'entretien à la ration de travail, le cheval, pendant les premiers jours, ne consommait pas intégralement cette dernière ration ; mais après 8 à 10 jours, il ingérait la totalité des fourrages qui lui étaient donnés ; de plus, il a toujours consommé dans le courant des essais le mélange qu'il avait laissé au début et qui a été ajouté à la ration.

Il ne nous pas été possible de recueillir les excréments des chevaux au travail. Nous ne possédons pour eux que leur variation de poids journalière et les quantités d'eau qu'ils ont bue. En ce qui concerne les chevaux au repos, indépendamment de leur poids et de l'eau bue qui ont été notés, nous avons recueilli et analysé leurs fèces, afin de pouvoir déterminer le coefficient d'utilisation des rations d'entretien. Tous les résultats sont consignés dans les tableaux L à LXII (voir 2e Mémoire, p. 93 à 116). Nous y renverrons les lecteurs désireux d'avoir sous les yeux tous les chiffres de nos essais ; les résumés que l'on trouvera plus loin suffiront pour donner une idée exacte des résultats moyens dont les éléments journaliers figurent dans ces tableaux.

COMPOSITION CENTÉSIMALE IMMÉDIATE ET ÉLÉMENTAIRE DES FÈCES.

Les fèces des chevaux soumis au repos avaient la composition suivante :

## COMPOSITION CENTÉSIMALE IMMÉDIATE DE LA SUBSTANCE SÈCHE DES FÈCES.

| | CENDRES privées de $CO^2$. | GLUCOSE. | CELLULOSE. | AMIDON. | GRAISSE. | MATIÈRE azotée. | INDÉTERMINÉS. | TOTAL. | SUBSTANCE ORGANIQUE. | AZOTE p. 100. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Cheval n° 1.* | | | | | | | | | | |
| Février 1882. . . . . . . . | 13.59 | 0 | 21.20 | 19.37 | 5.32 | 9.14 | 31.38 | 100.00 | 86.41 | 1.46 |
| Mars 1882 . . . . . . . . . | 12.27 | 0 | 20.68 | 20.54 | 4.96 | 9.74 | 31.81 | 100,00 | 87.73 | 1.56 |
| *Cheval n° 2.* | | | | | | | | | | |
| 20 avril-20 mai 1882 . . . . | 11.71 | 0 | 19.20 | 19.71 | 5.77 | 12.45 | 31.13 | 100.00 | 88.26 | 1.99 |
| 21 mai-20 juin 1882. . . . . | 11.71 | 0 | 19.62 | 19.54 | 5.68 | 11.55 | 31.90 | 100.00 | 88,29 | 1.85 |
| 24 juin-18 juillet 1882 . . . | 17.39 | 0 | 18.10 | 18.51 | 6.00 | 10.35 | 29.62 | 100.00 | 82.61 | 1.65 |
| 19 juillet-12 août 1882 . . . | 17.21 | 0 | 18.07 | 18 » | 5.61 | 11.15 | 29.96 | 100.00 | 82.79 | 1.78 |
| *Cheval n° 3.* | | | | | | | | | | |
| Décembre 1881. . . . . . . | 13.80 | 0 | 21.50 | 19.71 | 4.60 | 8.94 | 31.45 | 100.00 | 86.20 | 1.43 |
| Janvier 1882. . . . . . . . | 13.93 | 0 | 21.35 | 19.87 | 4.58 | 8.74 | 31.53 | 100.00 | 86.07 | 1.40 |
| Février 1882. . . . . . . . | 13.60 | 0 | 21.28 | 19.71 | 3.98 | 9.14 | 32.29 | 100.00 | 86.40 | 1.46 |
| Mars 1882 . . . . . . . . . | 11.65 | 0 | 20.44 | 20.21 | 4.96 | 9.74 | 33.00 | 100.00 | 88.35 | 1.56 |
| 24 juin-18 juillet 1882. . . . | 13.97 | 0 | 19.33 | 18.87 | 5.67 | 10.35 | 31.81 | 100.00 | 86.03 | 1.65 |
| 19 juillet-12 août 1882 . . . | 12.91 | 0 | 19.95 | 18.87 | 5.85 | 9.74 | 32.68 | 100.00 | 87.09 | 1.56 |

## COMPOSITION CENTÉSIMALE ÉLÉMENTAIRE DE LA SUBSTANCE ORGANIQUE DES FÈCES.

| ÉLÉMENTS. | CHEVAL N° 1. | | CHEVAL N° 2. | | | | CHEVAL N° 3. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Février 1882. | Mars 1882. | 20 avril-20 mai 1882. | 21 mai-20 juin 1882. | 24 juin-18 juillet 1882. | 19 juillet-12 août 1882. | Décembre 1881. | Janvier 1882. | Février 1882. | Mars 1882. | 24 juin-18 juillet 1882. | 19 juillet-12 août 1882. |
| Carbone . . | 52.54 | 53.02 | 51.79 | 51.75 | 52.43 | 52.41 | 53.22 | 51.77 | 51.63 | 52.81 | 54.44 | 52.55 |
| Hydrogène . | 6.46 | 6.25 | 6.41 | 6.78 | 6.40 | 6.63 | 5.96 | 6.62 | 6.50 | 6.41 | 6.30 | 6.06 |
| Azote. . . . | 1.69 | 1.78 | 2.25 | 2.09 | 1.99 | 2.15 | 1.66 | 1.63 | 1.69 | 1.77 | 1.92 | 1.79 |
| Oxygène . . | 39.31 | 38.95 | 39.55 | 39.38 | 39.18 | 38.81 | 39.16 | 39.98 | 40.18 | 39.01 | 37.34 | 39.60 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

## COMPOSITION IMMÉDIATE ET ÉLÉMENTAIRE DES FÈCES.
## MOYENNE JOURNALIÈRE.

Des tableaux précédents, l'on déduit les compositions suivantes des fèces rendues par jour (moyenne journalière).

COMPOSITION IMMÉDIATE DE LA SUBSTANCE SÈCHE DES FÈCES (MOYENNE JOURNALIÈRE).

| | SUBSTANCE organique. | CENDRES. | GLUCOSE. | CELLULOSE. | AMIDON. | GRAISSE. | MATIÈRE azotée. | INDÉTERMINÉS. | TOTAL de la substance sèche. | AZOTE. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Cheval n° 1.* | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| Février 1882. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1367.87 | 215.13 | 0 | 335.59 | 306.63 | 84.21 | 144.68 | 496.76 | 1583.00 | 23.11 |
| Mars 1882. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1239.10 | 173.30 | 0 | 292.08 | 290.11 | 70.06 | 137.57 | 419.28 | 1412.40 | 22.03 |
| *Cheval n° 2.* | | | | | | | | | | |
| 20 avril-20 mai 1882. . . . . . . . . . . . . . . . | 1503.42 | 199.98 | 0 | 327.05 | 335.74 | 98.27 | 212.07 | 530.29 | 1703.40 | 33.90 |
| 21 mai-20 juin 1882. . . . . . . . . . . . . . . . | 1502.61 | 199.29 | 0 | 333.91 | 332.55 | 96.66 | 196.57 | 542.92 | 1701.90 | 31.48 |
| 21 juin-18 juillet 1882. . . . . . . . . . . . . . . | 1371.24 | 288.66 | 0 | 300.44 | 307.74 | 99.59 | 171.80 | 491.67 | 1659.90 | 27.39 |
| 19 juillet-12 août 1882. . . . . . . . . . . . . . . | 1337.56 | 278.04 | 0 | 291.94 | 290.81 | 90.64 | 180.11 | 484.03 | 1615.60 | 28.76 |
| *Cheval n° 3.* | | | | | | | | | | |
| Décembre 1881. . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1292.31 | 206.89 | 0 | 322.33 | 295.19 | 68.96 | 131.03 | 471.50 | 1499.20 | 21.44 |
| Janvier 1882. . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1261.01 | 204.09 | 0 | 312.80 | 291.11 | 67.10 | 128.05 | 461.95 | 1465.10 | 20.51 |
| Février 1882. . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1073.00 | 168.90 | 0 | 261.28 | 241.78 | 49.43 | 113.51 | 401.00 | 1241.90 | 18.13 |
| Mars 1882. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1095.27 | 144.43 | 0 | 253.39 | 250.51 | 61.49 | 120.75 | 409.10 | 1230.70 | 19.31 |
| 24 juin-18 juillet 1882. . . . . . . . . . . . . . | 1157.28 | 187.92 | 0 | 260.03 | 253.81 | 76.27 | 139.23 | 427.91 | 1345.20 | 22.19 |
| 19 juillet-12 août 1882. . . . . . . . . . . . . . | 1214.03 | 179.97 | 0 | 278.10 | 263.05 | 81.55 | 135.78 | 455.55 | 1394.00 | 21.75 |

COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE DE LA SUBSTANCE ORGANIQUE DES FÈCES (MOYENNE JOURNALIÈRE).

| ÉLÉMENTS. | CHEVAL N° 1. | | CHEVAL N° 2. | | | | CHEVAL N° 3. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Février 1882. | Mars 1882. | 20 avril-20 mai 1882. | 21 mai-20 juin 1882. | 24 juin-18 juillet 1882. | 19 juillet-12 août. 1882. | Décembre 1881. | Janvier 1882. | Février 1882. | Mars 1882. | 24 juin-18 juillet 1882. | 19 juillet-12 août. 1882. |
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| Carbone. . . . . | 718.68 | 656.97 | 778.62 | 777.60 | 718.94 | 701.01 | 687.77 | 652.82 | 553.99 | 578.41 | 630.02 | 637.97 |
| Hydrogène. . . . | 88.36 | 77.44 | 96.37 | 101.87 | 87.76 | 88.68 | 77.02 | 83.48 | 69.74 | 70.21 | 72.91 | 73.57 |
| Azote. . . . . . | 23.11 | 22.03 | 33.90 | 31.48 | 27.39 | 28.76 | 21.44 | 20.51 | 18.13 | 19.34 | 22.19 | 21.75 |
| Oxygène. . . . . | 537.72 | 482.66 | 594.53 | 591.66 | 537.15 | 519.11 | 506.08 | 504.20 | 431.14 | 427.31 | 432.16 | 480.74 |
| Substance organique. . | 1367.87 | 1239.10 | 1503.42 | 1502.61 | 1371.24 | 1337.56 | 1292.31 | 1261.01 | 1073.00 | 1095.27 | 1157.28 | 1214.03 |

UTILISATION DES RATIONS. — COEFFICIENTS DE DIGESTIBILITÉ.

Des résultats donnés ci-dessus, on déduit, ainsi qu'il a été dit précédemment, les coefficients de digestibilité de chacun des principes immédiats des rations d'entretien :

Les deux tableaux suivants, extraits du 2e Mémoire, se rapportant au cheval n° 1 suffisent pour fixer les idées à ce sujet.

UTILISATION DES PRINCIPES IMMÉDIATS DES RATIONS. — MOYENNE JOURNALIÈRE. — RATION D'ENTRETIEN. **Tableau LXIII.**

| | Substance sèche. | Cendres. | Substance organique. | Glucose. | Cellulose. | Amidon. | Graisse. | Matière azotée. | Indéterminés. | Azote. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| **Cheval n° 1. — Février 1882.** | | | | | | | | | | |
| Ingéré . . . . . | 4972.66 | 207.98 | 4764.68 | 50.55 | 580.38 | 2617.03 | 189.15 | 603.77 | 723.80 | 96.61 |
| Fèces. . . . . | 1583.00 | 215.13 | 1367.87 | 0 | 335.59 | 306.63 | 84.21 | 144.68 | 496.76 | 23.11 |
| Digéré . . . . . | 3389.66 | » | 3396.81 | 50.55 | 244.79 | 2310.40 | 104.91 | 459.09 | 227.01 | 73.50 |
| Soit p. 100 . . . | 68.16 | » | 71.29 | 100.00 | 42.17 | 88.28 | 55.48 | 76.03 | 31.36 | 76.03 |
| **Cheval n° 1. — Mars 1882.** | | | | | | | | | | |
| Ingéré . . . . . | 4972.66 | 207.98 | 4764.68 | 50.55 | 580.38 | 2617.03 | 189.15 | 603.77 | 723.80 | 96.61 |
| Fèces. . . . . | 1412.40 | 173.30 | 1239.10 | 0 | 292.08 | 290.11 | 70.06 | 137.57 | 449.28 | 22.03 |
| Digéré . . . . . | 3560.26 | 34.68 | 3525.58 | 50.55 | 288.30 | 2326.92 | 119.09 | 466.20 | 274.52 | 74.58 |
| Soit p. 100 . . . | 71.59 | » | 73.99 | 100.00 | 49.69 | 88.91 | 62.96 | 77.21 | 37.92 | 77.21 |

UTILISATION DES PRINCIPES ÉLÉMENTAIRES DES RATIONS. — MOYENNE JOURNALIÈRE. — RATION D'ENTRETIEN. **Tableau LXIV.**

| | Carbone. | Hydrogène. | Azote. | Oxygène. | Substance organique. | Carbone. | Hydrogène. | Azote. | Oxygène. | Substance organique. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| | **Cheval n° 1. — Février 1882.** | | | | | **Cheval n° 1. — Mars 1882.** | | | | |
| Ingéré . . . . | 2279.31 | 296.58 | 96.61 | 2092.18 | 4761.68 | 2279.31 | 296.58 | 96.61 | 2092.18 | 4761.68 |
| Fèces. . . . . | 718.68 | 88.36 | 23.11 | 537.72 | 1367.87 | 656.97 | 77.44 | 22.03 | 482.66 | 1239.10 |
| Digéré. . . . | 1560.63 | 208.22 | 73.50 | 1554.46 | 3396.81 | 1622.34 | 219.14 | 74.58 | 1609.52 | 3525.58 |
| Soit p. 100 . . | 68.46 | 70.20 | 76.03 | 74.29 | 71.29 | 71.17 | 73.88 | 77.21 | 76.93 | 73.99 |

## V. Observations générales sur les expériences.

Nous venons d'exposer les résultats obtenus dans les expériences qui ont duré du 1er novembre 1880 au 12 août 1882.

Quelques-unes des observations consignées dans les tableaux numériques ont pu être altérées, par des causes extérieures accidentelles, indépendantes de notre volonté, qu'il est nécessaire d'indiquer ici. Nous allons donc les passer rapidement en revue. Beaucoup permettront d'expliquer les variations souvent considérables, surtout en ce qui concerne le cheval n° 1, qui ont été constatées dans les poids journaliers des chevaux ou dans les poids d'eau consommée.

### Expériences au manège.

Nous signalerons mois par mois, dans l'ordre chronologique, les particularités qui se sont présentées. Les trois chevaux ont été mis à la ration d'entretien le 1er novembre 1880.

#### DU 1er AU 30 NOVEMBRE 1880.

Leur poids baissa notablement dans les premiers jours : cette diminution due au changement de ration, nous la retrouverons presque constamment au début de chaque nouvel exercice, lorsque toutefois elle ne sera pas compensée par une absorption très grande d'eau en boisson.

*Cheval n°* 1.

*Le* 14. Très agité à la promenade.
*Le* 19. Essai de l'urinal ; très agité.
*Le* 20. Travaille une demi-heure au manège.
*Le* 30. Travaille une demi-heure au manège.

*Cheval n°* 2.

*Le* 14. Très agité à la promenade.
*Le* 20. Travaille une demi-heure au manège.

*Cheval n°* 3.

*Le* 20. Travaille une demi-heure au manège.
*Le* 21. Essai de l'urinal ; très agité.
*Le* 26. Essai de l'urinal ; très agité.

1er-31 DÉCEMBRE 1880.

*Cheval n° 1. — Ration de travail.*

Augmentation considérable dans le poids de l'eau absorbée ; les poids maxima ont lieu tous les huit jours, les 12, 20, 28. Le travail a été suspendu le 6 soir et le 7 matin, le 27 soir et le 28 matin, le cheval étant déferré.

*Cheval n° 2. — Ration de transport.*

Le cheval n'a pas marché les 6 et 27 soir et les 7 et 28 matin.

*Cheval n° 3. — Ration d'entretien.*

Bien que ce cheval soit resté à la ration d'entretien, comme pendant le mois précédent, il a diminué notablement de poids du 1er au 9. Cette diminution doit être attribuée :

1° A la solitude dans laquelle il se trouvait pendant les heures d'exercices des deux autres chevaux, temps pendant lequel il était très agité ;

2° Aux dernières tentatives d'essai de l'emploi de l'urinal, à la suite desquelles nous avons abandonné ce mode de récolte de l'urine.

JANVIER 1881.

*Cheval n° 1. — Ration d'entretien.*

Le passage du travail au repos avec la ration correspondante a donné lieu à une diminution de poids du cheval et de l'eau consommée.

2. Est purgé avec 40 grammes de sulfate de soude.

22. Le cheval est effrayé par le moteur à gaz actionnant les appareils de hachage de nos fourrages d'expériences pendant que les deux autres chevaux sont au manège. Il transpire abondamment. Diarrhée. Le soir, il refuse de boire et de manger ainsi que le 23 au matin. Sous l'influence de cette frayeur, son poids est tombé de 436 à 423 kilogr. en 24 heures. Pendant les 2 heures qu'a duré le hachage, sa perte de poids en eau transpirée et acide carbonique produit par la respiration a été de 3,180 grammes.

*Cheval n° 2. — Ration de travail.*

7. Perte d'urine.

8. Le cheval a mangé toute sa ration de travail.

9. Perte d'urine.

18. Il n'a pas travaillé le matin. Déferré.

*Cheval n° 3. — Ration de transport.*

18. N'a pas marché le matin.

FÉVRIER 1881.

*Cheval n° 1. — Ration de transport.*

14. Déferré ; n'a pas marché le soir.
15. N'a pas marché.
16. N'a pas marché le matin.
17. Très fougueux au manège.
27-28. Effrayé par la corne de bouquetin, dimanche gras.
28. N'a pas marché le soir.
1er *mars*. N'a pas marché.
2 *mars*. N'a pas marché le matin. Corne de bouquetin, mardi gras.

*Cheval n° 2. — Ration d'entretien.*

25. Effrayé par le moteur à gaz.
27-28. Effrayé par la corne de bouquetin.

*Cheval n° 3. — Ration de travail.*

12. Perte d'urine ; le cheval s'est détaché pendant la nuit.
28. N'a pas travaillé le soir. Déferré.
1er *mars*. N'a pas travaillé.

MARS 1881.

*Cheval n° 1. — Ration d'entretien.*

Rien à noter.

*Cheval n° 2. — Ration de travail.*

Rien à noter.

*Cheval n° 3. — Ration de transport.*

Rien à noter.

AVRIL 1881.

*Cheval n° 1. — Ration de transport.*

6. Il passe du repos à la marche au trot.
14. Est craintif, inquiet le soir. Nuit très agitée. Pourquoi ?
15. Perte d'urine.
16. Très fougueux au manège et agité dans sa stalle.
4 *mai*. Effrayé par le hachage.

*Cheval n° 2. — Ration d'entretien.*

6. Passe de la ration de travail à la ration d'entretien.
20. N'a pas bu le soir.

*Cheval n° 3. — Ration de travail.*

17. Il commence à laisser le tourteau de maïs de sa ration.

MAI 1881.

*Cheval n° 1. — Ration de travail.*

2 *juin.* Cheval effrayé pendant la nuit par tapage et chiens dans la rue.

3 *juin.* Semble boiter.

4. Boite légèrement et ne mange plus toute sa ration.

5. Boite. Rhumatisme articulaire.

6. Boite.

7. Mis au repos.

*Cheval n° 2. — Ration de transport.*

25. Perte d'urine.

*Cheval n° 3. — Ration d'entretien.*

Rien à noter.

JUIN 1881 (*du 8 juin au 9 juillet inclus*).

*Cheval n° 1. — Ration de travail.*

Le cheval est laissé au repos du 7 au 9 juin après midi, en raison de sa boiterie.

9 *juillet.* S'est cassé deux incisives pendant la nuit.

*Cheval n° 2. — Ration de travail.*

Rien à noter.

*Cheval n° 3. — Ration de travail.*

10. Le cheval galope, se fatigue et fait difficilement son travail du soir. Inflammation légère des articulations des boulets postérieurs.

13. Sueur et diarrhée abondantes.

Dans le mois de juillet, le 14, nous notons la Fête nationale, les chevaux ont été changés d'écurie du 26 au 29. Ce changement paraît avoir occasionné une légère diminution dans les poids des chevaux n° 1 et n° 2.

Il n'y a aucun fait particulier à noter pendant les deux mois de camionnage, août et septembre 1881.

Nous arrivons aux expériences à la voiture qui nous ont fourni les observations suivantes :

*Cheval n° 1.*

10 *décembre* 1881. Le cheval est pris de coliques. Il est légèrement ballonné.

11 *décembre.* On évite de le presser à la voiture : aussi le chemin effectivement parcouru est-il légèrement inférieur à celui qui était demandé par la feuille de travail.

13 *décembre.* A la fin de la journée de travail, le cheval paraît boiter un peu.

25 *décembre*. Très agité pendant la nuit. Refuse de manger.

27 *décembre*. Traction difficile : le cheval n° 2 se fait traîner derrière la voiture.

6 *janvier* 1882. Traction très difficile. Piste glissante. Le cheval n° 2 se faisant trop traîner est supprimé dès 5 heures du soir.

10 *janvier*. Surcroît de traction déterminée par le cheval n° 2 qu'on supprime à 9 heures du soir.

11 janvier. Coliques.

12 *janvier*. Très faible en raison des coliques de la veille. Le cheval n° 2 n'est plus placé derrière la voiture.

26 *janvier*. Coliques. Difficulté très grande d'uriner; le travail est arrêté sans qu'on ait rempli la feuille.

28 *janvier*. Traction difficile. Cheval très fatigué. On l'arrête avant d'avoir épuisé la feuille.

10 *février*. Coliques.

11 *février*. Coliques.

5 *mars*. Le cheval s'est pris dans sa longe pendant la nuit. Il paraît craintif et ne mange pas.

13 *mars*. Agité pendant la nuit.

15 *mars*. Le bruit éloigné, pendant la nuit, d'un rouleau compresseur à vapeur employé pour le cylindrage de la rue du Ruisseau l'effraye.

16 *mars*. Très effrayé ; à 10 heures du soir, il est entièrement couvert de sueur, le rouleau compresseur travaillant en face des stalles d'expérience.

17 *mars*. Le bruit du rouleau, quoique éloigné, l'effraye toujours. Pendant ce temps, le cheval a perdu un poids très notable : il est passé de $381^k,3$ le 14 mars à $379^k,5$ le 15 ; à $367^k,8$ le 16 ; à $360^k,2$ le 17, soit une diminution de $21^k,1$, dont $11^k,7$ en 24 heures du 15 au 16.

17 *mai*. Coliques.

*Cheval n° 2.*

Les 15, 16 et 17 mars 1882, le cheval est effrayé aussi par le rouleau compresseur, Moins agité que le cheval n° 1. Il ne se couche pas.

23 *mars*. Il boite.

30 *mars*. Boite beaucoup.

31 *mars*. Boite. Le genou antérieur droit est enflé. On suspend le travail.

*Cheval n° 3.*

Les 15, 16 et 17 mars 1882, ce cheval a paru peu effrayé par le rouleau compresseur à vapeur. Il ne se couche pas.

Pour terminer ces observations générales, il est nécessaire de rappeler que les chevaux n'ont jamais reçu de litière. Le cheval n° 1 ne s'est jamais couché pendant toute la durée des expériences ; les chevaux n° 2 et n° 3 se sont couchés fréquemment. Dans ces cas, ils reposaient directement sur le sol bitumé.

Si, indépendamment de ces observations, l'on tient compte des chutes de pluie ou de neige, on aura tous les éléments qui ont pu

influer sur les résultats de nos expériences. La pluie permet d'expliquer bon nombre de résultats qui, traduits en courbes, présentent de très grandes irrégularités, incompréhensibles au premier abord, irrégularités que l'on serait tenté d'attribuer à des erreurs d'observation. Ainsi, pour n'en citer qu'un exemple relatif au cheval n° 3, le 18 juin 1881, ce cheval n'a bu que 15k,5 d'eau, tandis que le 17 et le 19 il a bu 34 kilogrammes d'eau, et cependant le 18 il a augmenté de poids, puisqu'il pesait 441k,2, tandis que la veille et le lendemain il ne pesait que 439k,3 et 439k,6. Il semble qu'il y ait là une contradiction, mais le fait s'explique facilement. En effet, le 18 juin, il a plu ; pendant son travail, le cheval n° 3 a été mouillé ; sa transpiration est devenue presque nulle, puisqu'il n'a perdu en poids pendant son travail que 390 grammes, alors que la veille il avait perdu 4,200 grammes et le lendemain 4,260 grammes. Ayant très peu transpiré, il a moins bu, et c'est pourquoi la courbe s'abaisse considérablement le 18.

Toutefois, des variations du même genre s'observent également sans qu'on puisse les expliquer par une chute d'eau ou autrement. Ainsi, nous le voyons le même jour, 18 juin, pour le cheval n° 1. Mais il est à noter que le lendemain, 19 juin, le fait inverse se produit pour le même cheval. Ce sont là des phénomènes que la suite de nos études nous permettra peut-être d'expliquer.

Maintenant que nous connaissons les influences qui ont pu modifier les résultats, nous pouvons jeter un coup d'œil sur la marche du poids des chevaux pendant les quatre séries d'expériences et tirer les conclusions pratiques qui en découlent.

## VI. Variations du poids des chevaux dans les quatre séries d'expériences par rapport au travail produit. Conclusions pratiques qui en découlent.

L'étude attentive des variations de poids des chevaux nous conduit à quelques conséquences pratiques relatives à la valeur de nos rations, que nous allons d'abord établir. Pour cela, il est nécessaire, en tenant compte de toutes les influences perturbatrices signalées, de rechercher comment le cheval s'est comporté dans chacune des

séries d'expériences lorsqu'il recevait la ration d'entretien, de transport ou de travail.

Nous allons donc nous livrer rapidement à cette étude en groupant nos résultats sous les trois chefs suivants :

Ration d'entretien,
Ration de transport,
Ration de travail.

Nous ferons suivre notre examen concernant chacune de ces rations des conclusions qui en découlent.

### 1° Ration d'entretien.

CHEVAL N° 1. — Ce cheval a été soumis à cette ration pendant les mois suivants :

*Novembre 1880.* — La courbe du poids du cheval indique que la ration était trop forte pour son entretien au repos, avec une promenade journalière de 4 kilomètres environ au pas. En effet, son poids a augmenté : il y a eu formation de chair. On ne saurait attribuer cette augmentation à la fixation d'eau dans les tissus, car la courbe moyenne de l'eau bue et celle de l'eau rendue sont sensiblement parallèles et horizontales.

*Janvier 1881.* — Du 2 au 19 janvier, le cheval augmente encore de poids.

La perte du 22 est, comme nous l'avons dit, due à une frayeur. Il est très probable que cette perte a été produite, pour une bonne part, par une élimination d'eau et non de chair. Il est en effet impossible d'admettre que du 22 au 30 janvier le cheval ait pu, avec sa faible ration, passer de 423 kilogrammes à 435 kilogrammes, c'est-à-dire former 12 kilogrammes de chair en huit jours.

Nous en trouvons une preuve dans la constance du poids de l'urée ou de l'azote total dans l'urine : il est évident qu'à une diminution notable de chair aurait répondu une augmentation d'azote dans l'urine. Nous ne prétendons pas toutefois que toute la perte porte sur l'eau ; il y a eu évidemment usure de muscles, puisque le cheval était très agité, mais nous prouvons que cette usure a été relativement faible. Nous y reviendrons à propos de l'azote de l'urine.

Malgré cette diminution notable, le cheval arrive, avec la même ration, à atteindre le 31 janvier 434k,5, lorsque le 2 janvier il ne pesait que 432k,2 : les conséquences de la frayeur avaient entièrement disparu. On peut donc ici encore affirmer que cette ration est trop forte pour l'entretien du cheval nº 1.

*Mars 1881.* — Du 12 mars au 5 avril, il y a encore augmentation de poids.

*Février 1882.* — Pendant ce mois, la courbe indique encore une augmentation de poids du cheval.

*Mars 1882.* — Ici la courbe est très irrégulière ; mais si l'on se reporte aux observations qui ont été données précédemment, on voit que ce cheval a été soumis à l'influence de frayeurs fréquentes du 1er au 18 mars ; du 18 au 31, le cheval a été plus calme ; aussi son poids a-t-il augmenté à partir du 18. Mais il n'a pu, comme en janvier 1881, regagner en aussi peu de temps le poids qu'il avait perdu.

Cependant la ration a été plus que suffisante pour l'entretien du cheval nº 1. Elle a conduit à une augmentation de poids, c'est-à-dire à une production de chair.

CHEVAL Nº 2. — Ce cheval a été soumis à la ration d'entretien pendant les mois suivants :

*Novembre 1880.* — Si l'on tient compte des observations relatives aux 14 et 20 novembre, on trouve que le poids du cheval est resté sensiblement le même pendant ce mois de repos. En effet, si l'on traçait la courbe moyenne du poids du cheval, elle serait à peu près horizontale.

*Février 1881.* — Si l'on excepte le 12 février, dans laquelle l'accroissement considérable de l'eau rendue s'est traduit par une diminution de poids de l'animal, on voit qu'il y a eu augmentation de poids du 2 au 23 février. La diminution ultérieure a été produite par les frayeurs successives que nous avons indiquées.

*Avril 1881.* — Ici la marche générale de la courbe moyenne indique encore une augmentation du poids du cheval. Le faible poids d'eau bue le 20 a amené la dépression notable signalée par la courbe.

*12 avril-12 août 1882.* — Pendant ce temps, le cheval nº 2 a reçu

deux rations différentes : du 12 avril au 20 juin inclus, il a reçu, comme pendant les essais au manège, la ration d'entretien dont le poids du mélange journalier est de 5,736 grammes. Sous l'influence de cette ration, il a augmenté de poids ; il est passé de 379 kilogrammes le 12 avril à 408k,3 le 20 juin.

A partir du 21 juin, il a reçu comme ration d'entretien les $^9/_{10}$ de la ration précédente, jusqu'au 12 août. La courbe montre que le cheval a encore augmenté de poids du 21 juin au 18 juillet et qu'il s'est maintenu ensuite dans un état presque stationnaire du 18 juillet au 12 août.

Il résulte que la ration journalière pesant 5,736 a été pour le cheval n° 2 plus que suffisante pour son entretien, puisqu'il y a eu augmentation de poids ; et que les $^9/_{10}$ de cette ration peuvent être considérés, sinon un peu trop forts, tout au moins comme entièrement suffisants pour maintenir le cheval dans un bon état d'entretien.

Cheval n° 3. — L'examen de la courbe du cheval n° 3 conduit à des résultats analogues. Il a reçu la ration d'entretien aux époques suivantes :

*Novembre 1880.* — En éliminant les causes que nous avons indiquées des variations de poids, on trouve que la courbe moyenne du poids du cheval est sensiblement horizontale, c'est-à-dire que le cheval s'est maintenu en état sans augmentation ni diminution de poids. On remarquera, en effet, que les poids des 3 et 30 novembre sont 433k,5 et 433 kilogrammes, c'est-à-dire presque égaux.

*Décembre 1880.* — Aussitôt que nous avons supprimé l'urinal, le cheval augmente de poids et passe de 426 kilogrammes le 9 décembre à 433k,5 le 31. Pendant ce temps, la ration avait donc été trop forte.

*Mai 1881.* — L'inspection de la courbe montre encore que, dans ce mois, la ration d'entretien a conduit à une augmentation de poids.

*Du 1er décembre 1881 au 31 mars 1882.* — Du 1er décembre 1881 au 31 janvier 1882, ce cheval a reçu la même ration d'entretien. Il y a eu augmentation de poids notable, puisqu'il pesait 437 kilogrammes le 1er décembre, 444k,2 le 1er janvier et 454k,5 le 31 janvier.

Du 1er février au 31 mars 1882, le cheval n'a plus reçu que les $^9/_{10}$ de la ration précédente ; malgré cette diminution, nous avons encore constaté une augmentation de poids : le 1er février il pèse 449 kilogrammes, le 1er mars 454k,1 et le 31 mars 458k,3, après avoir passé par 461 kilogrammes le 14 mars.

*Du 13 juin au 12 août 1882.* — Pendant ce temps, le cheval ne reçoit, comme du 1er février au 31 mars 1882, que les $^9/_{10}$ de la ration d'entretien qui avait été expérimentée antérieurement. La courbe moyenne du poids du cheval montre encore ici qu'il y a eu augmentation de poids. Le poids des chevaux soumis à la ration d'entretien s'est donc constamment accru.

De cet examen, il résulte que la ration d'entretien composée de :

| | | |
|---|---|---|
| Foin. . . . . . . . . . . . . | 1,044 | grammes |
| Paille d'avoine. . . . . . . . | 564 | — |
| Avoine . . . . . . . . . . . . | 1,968 | — |
| Féverole . . . . . . . . . . . | 420 | — |
| Maïs. . . . . . . . . . . . . | 1,152 | — |
| Tourteau de maïs. . . . . . . | 288 | — |
| | 5,736 | grammes |

s'est trouvée être trop forte, puisqu'elle a conduit à un accroissement de poids vif chez nos trois chevaux et que la ration composée de :

| | | |
|---|---|---|
| Foin. . . . . . . . . . . . . | 940 | grammes |
| Paille d'avoine. . . . . . . . | 508 | — |
| Avoine . . . . . . . . . . . . | 1,772 | — |
| Féverole . . . . . . . . . . . | 380 | — |
| Maïs. . . . . . . . . . . . . | 1,308 | — |
| Tourteau de maïs. . . . . . . | 260 | — |
| | 5,168 | grammes |

qui représente sensiblement les $^9/_{10}$ de la ration précédente et qui a conduit aussi à une légère augmentation de poids vif chez les chevaux n° 2 et n° 3 (on n'a pas essayé cette ration sur le cheval n° 1), doit être considérée, sinon comme un peu forte, du moins comme très suffisante pour maintenir le cheval dans un bon état d'entretien, en tant qu'il sera placé dans des conditions identiques à celles de nos chevaux d'expériences.

### 2° Ration de transport.

Cheval n° 1. — Le cheval a reçu la ration de transport pendant les mois suivants :

*Février 1881.* — La courbe moyenne du poids du cheval pendant ce mois s'élève légèrement du 6 au 26 février. Il y a donc augmentation de poids et formation de chair. Cette formation de chair semble mise en évidence par ce fait que la courbe moyenne de l'eau bue va en diminuant alors que la courbe de l'eau rendue reste horizontale. Nous avons vu que la perte de poids que la courbe indique pour les 27 et 28 est due à la frayeur occasionnée par les cornes de bouquetin pendant le carnaval. Le cheval marchait au pas et parcourait en moyenne 18,254 mètres par jour.

*Avril 1881.* — Le cheval marche au trot et parcourt, en moyenne, 20,126 mètres.

Du 6 au 20 février, la courbe accuse une perte de poids importante : c'est la période d'entraînement que l'on observe aussi, mais avec une plus courte durée, dans l'essai au pas. A partir du 20 février, le poids du cheval se maintient jusqu'à la fin du mois d'expérience, c'est-à-dire le 7 mai. La courbe moyenne de cette dernière période tendrait même à accuser un léger accroissement de poids. Mais il faut observer aussi que la courbe moyenne de l'eau consommée suit sensiblement la même marche, tandis que la courbe moyenne de l'eau rendue dans les urines et les fèces reste horizontale. On peut donc en conclure qu'ici l'augmentation de poids n'est probablement due qu'à une fixation d'eau dans les tissus de l'animal. Quoi qu'il en soit, la ration nous paraît avoir été suffisante pour l'entretien du cheval.

*Du 12 avril au 12 juin 1882.* — Le cheval suivait la voiture. Du 12 avril au 18 mai inclus, le cheval n° 1 a parcouru le même chemin que le cheval n° 3 attelé à la voiture. Il sortait tous les deux jours. Il a parcouru en moyenne 66 kilomètres par jour de sortie. A partir du 19 mai jusqu'au 12 juin inclus, il n'a plus fait, pour les raisons que nous avons indiquées, que 20 kilomètres par jour de sortie. Le 12 avril, le cheval pèse 387k,3, le 18 mai 387k,2 après avoir passé par 399k,3 le 1er mai, et le 12 juin 392k,5 après avoir touché 400k,6

le 9 juin. La perte de poids considérable constatée le 17 mai correspond à des coliques dont le cheval a été atteint et à un minimum d'eau bue. La ration a donc été suffisante pour l'entretien du cheval du 12 avril au 18 mai, temps pendant lequel il a parcouru tous les deux jours environ 66 kilomètres.

Cheval n° 2. — Ce cheval a reçu la ration de transport pendant les mois suivants :

*Décembre 1880.* — L'examen des courbes montre que le poids du cheval a augmenté du 1er au 31 décembre et qu'il y a eu une légère formation de chair, car les courbes moyennes de l'eau bue et de l'eau rendue sont presque parallèles et leurs ordonnées croissent moins rapidement que celle de la courbe du poids vif du cheval. Dans ce mois, le chemin parcouru au pas était en moyenne de 18,996 mètres par jour.

*Mai 1881.* — Pendant ce mois, le cheval a parcouru au trot en moyenne 17,745 mètres.

La courbe moyenne du poids du cheval tend à s'abaisser légèrement. Toutefois, la perte de poids est très faible, puisque le 8 mai il pèse 408k,3 et le 7 juin 406 kilogrammes, après avoir passé par 408k,6 le 21 mai et 404k,2 le 6 juin. Et encore faut-il remarquer que le poids minimum correspond à un minimum d'eau bue. Dans ce cas, la ration semblerait avoir été un peu juste pour l'entretien du cheval.

*Du 1er décembre 1881 au 12 janvier 1882.* — Le cheval suivait la voiture au trot et faisait, par jour de sortie, une moyenne de 62 kilomètres. L'examen des courbes montre que la ration a été insuffisante pour maintenir le cheval en état. En effet, au début, le 1er décembre, il pesait 415k,5 et le 12 janvier son poids tombait à 406k,2 après avoir passé par 424k,5 le 6 décembre et 403 kilogrammes le 10 janvier. A partir du 12 janvier, ce cheval a été mis au repos avec la ration d'entretien.

Cheval n° 3. — *Janvier 1881.* — L'examen des courbes montre que le poids du cheval s'est constamment accru et que cet accroissement est dû, pour une large part, à une production de chair. En effet, on remarque que les courbes moyennes de l'eau consommée et de l'eau rendue sont assez concordantes ; il n'est donc pas proba-

ble que l'augmentation de poids de l'animal soit due à une fixation d'eau dans ses tissus. Le poids du cheval, qui était le 1er janvier de 430 kilogrammes, était le 31 janvier de 436 kilogrammes, après avoir passé par 426 kilogrammes le 3 et 437 kilogrammes le 23. Le chemin parcouru au pas était en moyenne de 20,763 mètres par jour.

*Mars 1881.* — Pendant ce mois, le cheval a parcouru au trot en moyenne 18,448 mètres par jour. Ici la courbe moyenne du poids du cheval s'abaisse du 6 mars au 5 avril. Il y a eu perte de poids. Cette perte de poids est évidente, car les courbes moyennes de l'eau bue et de l'eau rendue restent sensiblement parallèles et horizontales. Cependant, le cheval a toujours mangé la totalité de sa ration journalière. Nous devons noter toutefois que le cheval a le pas très court et qu'il galopait de temps en temps pendant l'exercice pour fournir dans le même temps le chemin parcouru par le cheval n° 2 qui actionnait le manège ; peut-être est-ce là la cause principale de la perte de poids constatée. Quoi qu'il en soit, il ressort clairement de l'examen des courbes que la ration a été insuffisante pour l'entretien de ce cheval faisant au trot 18,448 mètres par jour.

Pendant les expériences à la voiture, le cheval n° 3 n'a pas été soumis à la ration de transport.

De ce qui précède, nous pouvons conclure que la ration de transport composée de :

| | | |
|---|---|---|
| Foin. . . . . . . . . . . . | 1,148 | grammes |
| Paille d'avoine. . . . . . . . | 620 | — |
| Avoine . . . . . . . . . . . . | 2,161 | — |
| Féverole . . . . . . . . . . | 464 | — |
| Maïs. . . . . . . . . . . . . | 1,600 | — |
| Tourteau de maïs. . . . . . . | 316 | — |
| | 6,312 | grammes |

est plus que suffisante pour maintenir le cheval en état, tout en faisant un parcours journalier au pas de 18 à 20 kilomètres. En ce qui concerne le parcours au trot au manège, cette même ration, qui paraît avoir été plus que suffisante pour le cheval n° 1, à peine suffisante pour le cheval n° 2, ne l'a plus été pour le cheval n° 3.

Les différences constatées dans la marche au pas et dans la marche au trot ne sauraient être attribuées probablement qu'aux diffé-

rences du travail mécanique de transport des chevaux et à celles d'utilisation des principes immédiats des fourrages. Nous reviendrons ultérieurement sur l'examen de ce point que nous ne faisons qu'indiquer en passant.

Les expériences à la voiture montrent que, pour le cheval n° 1, le chemin parcouru peut atteindre environ 33 kilomètres par jour sans aucun inconvénient pour son entretien.

Quant au cheval n° 2, dont l'entretien était à peine suffisant lorsqu'il ne parcourait au trot qu'environ 18 kilomètres, il est clair qu'il ne pouvait se maintenir en état du 1^er^ décembre 1881 au 12 janvier 1882 en fournissant un parcours moyen journalier d'environ 31 kilomètres. Ces résultats montrent le compte qu'il faut tenir de l'individualité de l'animal.

### 3° Ration de travail.

CHEVAL N° 1. — *Décembre 1880.* — Pendant ce temps, le cheval a parcouru en moyenne $19^{km},345$ chaque jour et effectué au manège dynanométrique 552,504 kilogrammètres. Si l'on compare les courbes relatives à ce cheval, on voit d'abord que son poids a augmenté; qu'il y a eu formation de chair, notamment du 20 au 31 décembre. Or, il est à remarquer que du 1^er^ au 20 décembre la traction du manège est de $33^k,33$, tandis que du 21 au 31 décembre inclus elle n'était plus que de $21^k,77$. La courbe moyenne du poids vif du cheval est horizontale du 1^er^ au 21 : la ration qu'il consommait était donc suffisante pour son entretien et pour produire environ 700,000 kilogrammètres par jour. Du 21 au 31, le travail journalier n'a plus été que d'environ 430,000 kilogrammètres. Aussi y a-t-il eu production de chair avec la portion de la ration qui du 1^er^ au 21 décembre avait donné un travail journalier d'environ 270,000 kilogrammètres.

Bien qu'il y ait eu formation de chair et que le poids d'eau rendue soit resté sensiblement constant pendant tous le mois, les écarts des poids du cheval sont dus principalement aux variations de poids de l'eau consommée. Or, les maxima d'eau bue (qui ont lieu tous les huit jours) ont été atteints les lendemains des jours où le cheval avait

les poids vifs les plus faibles ; ils ont toujours contribué à élever notablement son poids. La marche de ces courbes fait supposer que le cheval peut perdre graduellement, pendant plusieurs jours, de l'eau de ses tissus jusqu'à une certaine limite minimum : lorsque cette limite est atteinte, il comble le déficit par une absorption d'eau plus considérable qui est généralement un maximum.

*Mai 1881-juin 1881.* — Pendant ces deux mois, le cheval a travaillé au trot au manège, effectuant, en mai, un parcours de 21km,256 et un travail de 440,893 kilogrammètres, et, en juin, un parcours de 21km,039 et un travail de 435,286 kilogrammètres.

Si, en raison de la boiterie due à un rhumatisme articulaire qui a été bien constaté dès le 3 juin et qui a sans doute occasionné la perte de poids observée du 2 au 6 juin, on élimine la portion de courbe correspondant à ces jours, on trouve que du 8 mai au 1er juin inclus, il y a eu augmentation de poids vif, tandis que du 15 juin au 8 juillet il y a eu diminution, diminution faible, il est vrai. A quoi attribuer cette différence ? La perte de poids du cheval pendant le travail, qui avait été en moyenne de 8,335 grammes par jour en mai, est montée à 8,744 grammes en juin, et cependant le travail mécanique produit dans les deux cas est resté sensiblement le même : 440,893 kilogrammètres en mai, et 435,286 kilogrammètres en juin. Le poids d'eau consommée, en mai, était de 23,446 grammes et, en juin, 25,616 grammes. Cette différence a-t-elle eu une influence, ainsi que les écarts très grands dans les quantités d'eau bue ? La piste qui était très poussiéreuse en juin a dû fatiguer beaucoup le cheval ; mais les deux autres chevaux, chez qui l'on n'observe pas le même phénomène, se trouvaient dans la même situation. Pour l'instant, nous ne savons pas à quelle cause attribuer la perte de poids constatée, malheureusement nous ne possédons pas de données sur la quantité d'eau rendue ; nous ne pouvons donc savoir si cette perte ne serait pas due à un accroissement de cette dernière ou bien à une diminution de l'eau des tissus, comme on l'a observé, pour le même cheval, en décembre 1880. Il faut toutefois noter que du 22 juin au 9 juillet, la courbe moyenne est presque horizontale. Quoi qu'il en soit, nous pensons que la ration a été suffisante.

*Août-septembre 1881.* — Pendant ces deux mois, le cheval fai-

sait le service du camionnage. Avant, il était au repos depuis le 10 juillet. La courbe accuse une perte de poids très considérable du 1er au 26 août. A partir de cette date, les variations de poids sont plus faibles, mais le cheval n'atteint un poids que l'on peut considérer comme constant que du 8 au 30 septembre. Le temps qui s'est écoulé du 1er août au 8 septembre, soit 39 jours, doit être considéré comme période d'entraînement. On sait que les trois chevaux étaient attelés à la même voiture, le cheval n° 1 était en flèche et les chevaux 2 et 3 de chaque côté du timon. Le cheval n° 1, qui n'était pas habitué à ce nouvel exercice, a dépensé beaucoup de force dans des mouvements inutiles : c'est sans doute pour cela que, pour lui, la période d'entraînement a été plus longue que pour le cheval n° 2. Les résultats obtenus au manège autorisent du moins cette supposition. La courbe du poids du cheval suit assez bien les variations de la courbe du poids d'eau consommée. On peut conclure que, dès le 8 septembre, la ration était suffisante. Le chemin parcouru était de 32,109 mètres et le travail produit de 959,277 kilogrammètres par jour. Le chemin total parcouru par le cheval n° 1, dans cette expérience, a été de 1,858km,649 et le travail produit de 58,515,897 kilogrammètres.

*Décembre 1881-janvier 1882; 12 juin-12 août 1882.* — Dans ces expériences avec la voiture, le poids du cheval augmente d'abord : il passe de 404 kilogrammes le 1er décembre à 421k,5 le 8. Puis il diminue graduellement jusqu'au 19 janvier 1882, époque à laquelle il est minimum, 379k,5. Du 19 au 31 janvier, il reste stationnaire et oscille entre 382 kilogrammes et 388k,5. On doit noter que le cheval n° 2, qui a suivi la voiture du 1er décembre 1881 au 12 janvier 1882 a déterminé, en se faisant traîner, un surcroît de traction qu'il n'est pas possible d'évaluer, mais qui sans doute a eu une influence considérable sur la perte de poids du cheval n° 1. On remarquera, en outre, que le cheval n° 1 a eu des coliques fréquentes ; toutes causes qui font que cette expérience se trouvait avoir été faite dans de mauvaises conditions. Aussi, l'avons-nous recommencée du 12 juin au 12 août. Ici, toutes les causes perturbatrices qui avaient altéré nos premières recherches font défaut, aussi la courbe montre-t-elle que le cheval s'est maintenu en bon état. Nous trouvons, en effet,

que son poids était le 25 juin de 391 kilogrammes après une journée de travail su laquelle dail avait parcouru 62,554 mètres et effectué 1,567,801 kilogrammètres, et de 391 kilogrammes le 21 juillet après un travail correspondant à un parcours de 71,180 mètres et un travail de 1,773,758 kilogrammètres. Le poids minimum a été atteint le 10 août, jour de travail dans lequel le cheval a bu le minimum d'eau. Les résultats nous autorisent à considérer la ration employée comme suffisante au cheval n° 1, pour parcourir, un jour sur deux, une moyenne de 65,248 mètres en effectuant pour ce parcours un travail de 1,634,138 kilogrammètres. Ces chiffres sont déduits de l'expérience du 12 juin au 12 août dont les résultats sont indiqués au tableau LXII et qui a donné un parcours total de 2,022$^{km}$,695$^{m}$ et un travail de 50,658,310 kilogrammètres.

Cheval n° 2. — *Janvier 1881.* — Le passage de la ration de transport à la ration de travail au manège a déterminé une perte de poids très rapide du 2 au 7 janvier : c'est la période d'entraînement. Du 7 au 31 janvier, la courbe moyenne des poids vifs s'élève : il y a eu évidemment formation de chair. La ration était donc trop forte pour maintenir ce cheval dans le même état et lui fournir en même temps les éléments nécessaires pour la production, au pas, d'un travail moyen journalier de 421,778 kilogrammètres sur un parcours de 20,185 mètres.

*Mars 1881-juin 1881.* — Dans ces deux mois, le cheval travaillait au manège au trot. Du 6 au 20 mars, le poids du cheval passe de 408 kilogrammes à 405 kilogrammes, après avoir atteint 415$^{k}$,3 le 14 : c'est la période d'entraînement. Du 20 mars au 5 avril, son poids devient stationnaire et ne varie plus que de 404 kilogrammes le 22 mars à 406$^{k}$,6 le 30 mars : le cheval a donc été maintenu en état, tout en faisant un travail moyen journalier de 433,591 kilogrammètres et un parcours de 20,805 mètres. Du 8 juin au 9 juillet, la courbe moyenne est sensiblement horizontale : le cheval s'est aussi entretenu, tout en parcourant 20,773 mètres et effectuant un travail de 429,332 kilogrammètres. La ration dans ces deux cas a été suffisante, tandis qu'elle avait été trop forte pendant le travail au pas.

*Août-septembre 1881.* — Le cheval fait le service du camionnage

qui commence le 1er août. Du 10 au 31 juillet, le cheval était au repos. L'examen de la courbe du poids du cheval montre que la période d'entraînement va du 1er au 2 septembre, car à partir de cette dernière date, la courbe moyenne est horizontale. Ainsi, pour ce cheval la période d'entraînement a une durée de 33 jours, au lieu de 39 jours constatés pour le cheval n° 1. On peut conclure de là que du 2 au 30 septembre la ration consommée a été suffisante pour entretenir ce cheval faisant tous les jours en moyenne, 957,277 kilogrammètres, avec un parcours de 32,109 mètres. Le chemin total qu'il a parcouru a été, comme pour le cheval n° 1, de 1,858km,649 et le travail total 58,515,897 kilogrammètres.

*1er février-31 mars 1882.* — Dans cet essai, nous avons à tenir compte de diverses influences perturbatrices déjà signalées : d'abord du 15 au 17 mars, la frayeur occasionnée par un rouleau compresseur à vapeur, ensuite du 23 au 31 mars, une boiterie qui nous oblige à suspendre les essais. Nous nous trouvons donc, en réalité, en face d'une expérience dont la durée ne va que du 1er février au 15 mars. On remarque que le poids du cheval était de 395 kilogrammes le 6 février, 389 kilogrammes le 8 février, 392k,1 le 15 et 389k,1 le 16 mars. Le 8 février, le cheval avait parcouru 69,957 mètres et fait 1,755,813 kilogrammètres et le 16 mars 64,697 mètres et 1,607,910 kilogrammètres. La ration semble donc avoir été suffisante pour le maintenir en état et lui permettre de fournir, du 8 février au 16 mars, c'est-à-dire pendant 36 jours, un travail moyen journalier de 1,597,126 kilogrammètres pour un parcours de 63,859 mètres. Dans cet essai, le chemin total parcouru a été de 1,851km,909 mètres et le travail effectué de 46,316,660 kilogrammètres.

Cheval n° 3. — *Février 1881.* — Le cheval n° 3 au travail au manège au pas a constamment augmenté de poids : il passe de 436 kilogrammes le 1er février à 446 kilogrammes le 3 mars. Il a produit par jour, en moyenne, 395,429 kilogrammètres et parcouru 18,505 mètres. Bien qu'il ait travaillé chaque jour pendant le même temps que les chevaux n° 1 et n° 2, il a parcouru le chemin minimum ; cela tient sans doute à ce qu'ayant des jambes courtes, il faisait des pas plus petits.

*Avril 1881-juin 1881.* — Mais il n'en a pas été de même au travail au trot. Pendant le mois d'avril après la période d'entraînement, le poids du cheval, si l'on a égard aux variations de poids d'eau bue, est resté sensiblement stationnaire du 14 avril au 7 mai. Ce poids était le 14 avril de 432$^k$,8 et le 7 mai 432$^k$,5. Pendant ce temps, la ration a donc été suffisante pour la production moyenne journalière de 416,597 kilogrammètres et un parcours de 20,126 mètres. Dans l'essai du mois de juin, le cheval n° 3 a encore augmenté de poids du 8 au 29 juin ; mais il faut noter aussi que les poids d'eau consommée ont suivi une marche parallèle, de sorte qu'il peut se faire que l'augmentation de poids ne porte que sur de l'eau. Ce qui tendrait à corroborer cette manière de voir, c'est que du 8 au 23 juin, lorsque l'eau bue augmentait tous les jours, la perte de poids du cheval pendant le travail était, en moyenne, de 8,230 grammes, tandis que lorsque le poids d'eau bue diminue du 23 juin au 4 juillet, la perte de poids du cheval est de 8,640 grammes. Quoi qu'il en soit, si l'on envisage l'ensemble de l'expérience, on reconnaît que la ration a été suffisante. Le travail moyen journalier a été de 390,815 kilogrammètres et le chemin parcouru de 18,898 mètres.

*Août-septembre 1881.* — Pendant ces deux mois, le cheval fait le service du camionnage. D'après le travail produit par ce cheval dans les expériences antérieures, et la manière dont il s'est comporté vis-à-vis de la ration employée, il était à présumer qu'il devrait avoir quelques peines pour se maintenir en état en fournissant sa part de travail journalier dans le service commun de camionnage ; on se rappelle que les trois chevaux étaient attelés à la même voiture. Ayant les jambes plus courtes que les chevaux n° 1 et n° 2, il lui était difficile de suivre leur allure. Les efforts qu'il a dû faire dans ce service se sont traduits par une diminution de poids rapide et considérable. Pour lui, la période d'entraînement, d'après les courbes, irait du 1$^{er}$ août au 12 septembre ; elle comprendrait donc 43 jours. Ce n'est guère qu'à partir de cette date que l'on peut considérer le poids du cheval comme se maintenant dans un état presque stationnaire, du 12 au 30 septembre. Pour lui, la ration paraîtrait avoir été juste suffisante ou plutôt un peu faible. Le chemin parcouru a été de 32,109 mètres et le travail effectué de 959,277 kilogram-

mètres. Le chemin total qu'il a parcouru et le travail qu'il a produit sont les mêmes que ceux des chevaux n° 1 et n° 2 pour la même période.

*Du 12 avril au 12 juin 1882.* — Le cheval n° 3 était resté au repos du 1er décembre 1881 au 31 mars 1882. Avant de le soumettre au travail régulier de la voiture, nous avons commencé du 1er au 11 avril, par le faire travailler progressivement de façon à atténuer autant que possible la transition du repos au travail. Il faisait alors, en moyenne, de 20 à 22 kilomètres tous les jours avec la voiture chargée et recevait la ration de travail. Dès le 12 avril, on lui fait faire le travail régulier de la voiture jusqu'au 12 juin. La courbe du poids du cheval montre que cette période peut se diviser en trois parties très caractéristiques : la première va du 12 au 20 avril, dans laquelle le poids du cheval diminue ; la seconde, du 20 avril au 13 mai, dans laquelle le poids oscille entre 431k,5 et 444k,8, suivant les quantités d'eau ingérée, et paraît rester stationnaire ; enfin la troisième, du 13 mai au 12 juin, à laquelle correspond une diminution de poids vif. Pendant la seconde période, la ration semblerait avoir été suffisante ; mais si l'on remarque que le poids d'eau ingérée a été en augmentant du 12 avril au 12 mai, on est conduit à attribuer cette constance de poids à une fixation momentanée d'eau dans les tissus, analogue à celle que nous avons signalée pour le cheval n° 1. On observe, en effet, les maxima d'eau ingérée les 2, 12, 22 et 30 mai ; cette eau aurait disparu peu à peu avec la prolongation des expériences, en même temps que le cheval buvait moins du 13 mai au 12 juin. S'il en était autrement, on ne comprendrait pas comment le cheval n'aurait pas perdu de poids en parcourant, du 20 avril au 12 mai inclus, une moyenne de 66,797 mètres, alors qu'il en aurait perdu du 13 mai au 12 juin en ne parcourant que 64,847 mètres en moyenne. Du 12 avril au 12 juin, le cheval n° 3 a effectué un parcours total de 2,039km,528 et un travail de 51,095,774 kilogrammètres, ce qui donne, pour un jour sur deux, un parcours moyen de 65,791 mètres et un travail de 1,648,250 kilogrammètres. Si l'on rapproche ces chiffres de ceux que nous avons obtenus dans les essais de camionnage, nous trouvons que ce cheval a fourni en moyenne par jour :

| | |
|---|---|
| Au camionnage, | un parcours de 32,109 mètres.<br>un travail de 959,277 kilogrammètres. |
| A la voiture, | un parcours de 32,895 mètres.<br>un travail de 824,125 kilogrammètres. |

Le travail de la voiture a donc été inférieur d'environ 135,000 kilogrammètres à celui du camionnage, et cependant le cheval, après une période de 43 jours d'entraînement au camionnage, s'est maintenu dans un poids stationnaire.

Toutefois, nous ne saurions tirer aucune conclusion de ces chiffres, car nous ne devons pas oublier que, les trois chevaux travaillant ensemble au camionnage, nous ne savons si le cheval n° 3 a fait exactement les 959,277 kilogrammètres correspondant à sa part de travail journalier ($^1/_3$ du travail total). D'un autre côté, nous devons remarquer que, pendant ces deux expériences du camionnage et de la voiture, les rations, quoique égales, n'ont pas été données de la même manière, et rien, *à priori*, ne peut faire admettre que ces deux modes de distribution n'ont pas influencé les résultats. En outre, il reste à savoir si la dépense organique du cheval demeure la même pour un même parcours et un même travail kilogrammétriques soit que le cheval travaille tous les jours où seulement un jour sur deux. Enfin, il ressort de l'examen de nos données analytiques relatives au coefficient d'utilisation des principes immédiats des rations, que l'état de travail ou de repos a une influence marquée sur l'assimilation des aliments : le cheval n° 3 paraît avoir été le plus sensible à cette influence. Ainsi, le coefficient de digestibilité de la substance organique de la ration, qui en mai, pendant le repos, était de 71.79 p. 100, tombe à 64.94 p. 100 en avril et à 65.57 p. 100 en juin pendant le travail au trot au manège. Il est dès lors très probable que, bien que la ration soit restée la même, un fait analogue s'est produit pendant les expériences du camionnage et de la voiture ; la ration par suite serait devenue insuffisante et aurait produit la perte de poids constatée. Ces considérations nous obligent à être très réservés quant aux conclusions à tirer des expériences de camionnage et de voiture de place en ce qui concerne le cheval n° 3.

En résumé, et comme conclusions pratiques ressortant de l'exa-

men auquel nous venons de nous livrer, nous dirons que la ration de travail, qui était composée par jour de :

| | |
|---|---|
| Foin. . . . . . . . . . . . . . | 1,568 grammes |
| Paille d'avoine. . . . . . . . . . | 848 — |
| Avoine . . . . . . . . . . . . . . | 2,952 — |
| Féverole . . . . . . . . . . . . | 632 — |
| Maïs. . . . . . . . . . . . . . . | 2,180 — |
| Tourteau . . . . . . . . . . . . | 432 — |
| Total. . . . . . . . . . . | 8,612 grammes |

1° A été trop forte pour chacun des trois chevaux travaillant au manège au pas et effectuant en moyenne par jour :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Le cheval n° 1, | 552,504 | kilogrammètres | et un parcours de | 19,345$^{m}$,5 |
| — n° 2, | 421,789 | — | — | 20,185$^{m}$,1 |
| — n° 3, | 395,429 | — | — | 18,507$^{m}$,6 |

2° A été suffisante pour chacun des trois chevaux travaillant au manège au trot et effectuant en moyenne par jour :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Le cheval n° 1, | en mai : | 440,893 | kilogrammètres | et un parcours de | 21,256$^{m}$,0 |
| | en juin : | 435,286 | — | | 21,039 ,7 |
| Le cheval n° 2, | en mars : | 433,591 | — | | 20,805 ,5 |
| | en juin : | 429,332 | — | | 20,772 ,9 |
| Le cheval n° 3, | en avril : | 416,597 | — | | 20,126 ,4 |
| | en juin : | 390,815 | — | | 18,898 ,1 |

3° A été suffisante pour les chevaux n° 1 et n° 2 faisant le service du camionnage et effectuant chacun en moyenne par jour :

950,277 kilogrammètres et un parcours de 32,109$^{m}$,12 ;

4° A été suffisante pour les chevaux n° 1 et n° 2 travaillant à la voiture, dans des conditions normales, et effectuant en moyenne par jour de sortie :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Le cheval n° 1 : | 1,634,138 | kilogrammètres | et un parcours de | 65,248 mètres |
| — n° 2 : | 1,598,126 | — | — | 63,859 — |

5° Cette ration semble avoir été un peu faible sinon insuffisante pour le cheval n° 3, pendant la durée du camionnage, pour effectuer en moyenne par jour 959,277 kilogrammètres et un parcours de 32,109$^{m}$,12.

6° Elle a été insuffisante pour ce même cheval n° 3, dans l'expérience avec la voiture, dans laquelle il a été effectué en moyenne, par jour de sortie, 1,648,250 kilogrammètres et un parcours de 65,791 mètres.

Le cheval n° 3 a fourni le travail maximum à la voiture.

Nous avons vu que les feuilles de travail ne demandaient en moyenne, par jour de sortie, qu'un parcours de 62$^{km}$,261. Les chevaux ont donc fait en trop:

Le cheval n° 1 : 2,987 mètres.
— n° 2 : 1,598 —
— n° 3 : 3,530 —

Cet excès de travail produit a incontestablement influé sur l'état d'entretien du cheval : il nous est entièrement impossible de fixer les limites de cette influence. On considérera que dans le travail à la voiture nous n'avons pas eu à tenir compte des à-coups, arrêts brusques, démarrages fréquents et autres causes analogues qui se rencontrent à chaque pas sur le pavé de Paris et qui nécessitent parfois des efforts musculaires très notables. Il est fort probable que la ration que nous avons utilisée n'aurait pas été suffisante pour faire face à ce surcroît de travail. Aussi devons-nous envisager cette ration comme la ration minimum qui puisse être employée si l'on n'a pas à compter avec des causes imprévues ou accidentelles de travail supplémentaire. Nous rappellerons que la ration expérimentée avait été, à dessein, diminuée d'environ 20 p. 100 du poids de la ration consommée par la cavalerie de la Compagnie.

## VII. Discussion des expériences.

Arrivés au terme de cette étude, il nous reste, pour la compléter, à discuter nos expériences et à en comparer les résultats à ceux qui ont été obtenus par d'autres expérimentateurs. Le nombre considérable des données que nous avons recueillies, la durée de nos expériences, les conditions diverses et bien déterminées auxquelles ont été soumis nos chevaux, nous mettent en possession d'un ensemble de documents du plus haut intérêt sur l'alimentation du cheval de

trait considérée dans ses rapports avec les divers régimes, repos, marche au pas et au trot, de cet animal. Nous nous bornerons, dans les pages qui vont suivre, à la discussion des points fondamentaux aux applications directes.

Nous suivrons, pour cette discussion, l'ordre même de nos recherches : 1° statique de l'eau ; 2° statique de l'azote ; 3° production du travail, origine de la force musculaire ; 4° digestibilité des aliments : influence du repos, de la marche et du travail sur la digestibilité des fourrages.

## I. Statique de l'eau.

La statique de l'eau comprend la comparaison des quantités d'eau consommée, éliminées par l'intestin et par le rein, expirées ou perspirées par les voies pulmonaire et cutanée. Cette étude, des plus instructives, est complète pour chacun des trois chevaux, pendant les mois de repos, de marche ou de travail au manège, tant au pas qu'au trot. Elle est limitée aux quantités d'eau bue pour les mois de camionnage et de travail à la voiture, pendant lesquels nous n'avons pu recueillir les fèces ni l'urine.

Nous commencerons par résumer dans les tableaux suivants : 1° les quantités moyennes, maxima et minima d'eau consommée, par jour, dans les diverses conditions où les chevaux se sont trouvés placés durant nos expériences. Sous cette désignation *eau consommée,* sont compris les poids d'eau contenue dans les fourrages et ceux de l'eau bue dont le détail se trouve dans les tableaux journaliers du 1er et du 2e Mémoire.

### A. Eau consommée.

1° *Pour le cheval n°* 1.

| | | | |
|---|---|---|---|
| En nov. 1880, au repos. . | 8,571gr,9 | maximum. | 11,789 gr. le 15 nov. 1880. |
| | | minimum. | 6,089 gr. le 30 nov. 1880. |
| En déc. 1880, au travail au pas, au manège. | 16,998gr,7 | maximum. | 26,074 gr. le 12 déc. 1880. |
| | | minimum. | 10,971 gr. le 27 déc. 1880. |
| En janvier 1881, au repos. | 7,789gr,9 | maximum. | 10,952 gr. le 10 janv. 1881. |
| | | minimum. | 1,132 gr. le 22 janv. 1881. |
| En février 1881, à la marche au pas. . . . . | 9,245gr,2 | maximum. | 13,871 gr. le 3 mars 1881. |
| | | minimum. | 3,711 gr. le 27 février 1881. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| En mars 1881, au repos. . | 8,503gr | maximum. | 11,938 gr. le 18 mars 1881. |
| | | minimum. | 3,818 gr. le 12 mars 1881. |
| En avril 1881, marche au trot. . . . . . . . | 14,559gr | maximum. | 20,333 gr. le 18 avril 1881. |
| | | minimum. | 10,653 gr. le 29 avril 1881. |
| En mai 1881, travail au trot. | 23,416gr | maximum. | 26,789 gr. le 22 mai 1881. |
| | | minimum. | 9,729 gr. le 7 juin 1881. |
| En juin 1881, travail au trot. | 25,616gr | maximum. | 35,738 gr. le 5 juillet 1881. |
| | | minimum. | 17,388 gr. le 22 juin 1881. |
| En juillet 1881, au repos. | 20,701gr | maximum. | 31,663 gr. le 19 juin 1881. |
| | | minimum. | 8,033 gr. le 10 juillet 1881. |
| En août 1881, au camionnage. . . . . . . . . | 27,945gr | maximum. | 43,319 gr. le 5 août 1881. |
| | | minimum. | 15,969 gr. le 24 août 1881. |
| En septembre 1881, au camionnage. . . . . . . | 24,413gr | maximum. | 32,119 gr. le 26 sept. 1881. |
| | | minimum. | 14,249 gr. le 9 sept. 1881. |
| En déc. 1881, à la voiture. | 22,164gr | maximum. | 34,428 gr. le 21 déc. 1881. |
| | | minimum. | 7,818 gr. le 24 déc. 1881. |
| En janv. 1882, à la voiture. | 21,209gr | maximum. | 35,378 gr. le 2 janvier 1882. |
| | | minimum. | 8,738 gr. le 17 janvier 1882. |
| En février 1882, au repos. | 8,967gr | maximum. | 19,113 gr. le 14 février 1882. |
| | | minimum. | 5,403 gr. le 19 février 1882. |
| En mars 1882, au repos. . | 7,829gr | maximum. | 17,143 gr. le 25 mars 1882. |
| | | minimum. | 763 gr. les 16 et 26 mars 1882. |
| Du 12 avril au 12 mai 1882, à la marche au trot. . . | 19,304gr | maximum. | 33,072 gr. le 14 avril 1882. |
| | | minimum. | 5,092 gr. le 15 avril 1882. |
| Du 13 mai au 12 juin 1882, à la marche au trot. . . | 13,911gr | maximum. | 33,522 gr. le 18 mai 1882. |
| | | minimum. | 4,552 gr. le 12 juin 1882. |
| Du 13 juin au 13 juill. 1882, à la voiture. . . . . . | 27,355gr | maximum. | 45,693 gr. le 3 juillet 1882. |
| | | minimum. | 15,052 gr. le 18 juin 1882. |
| Du 14 juill. au 13 août 1882, à la voiture. . . . . . | 30,226gr | maximum. | 44,253 gr. le 19 juillet 1882. |
| | | minimum. | 17,312 gr. le 16 juillet 1882. |

2° *Pour le cheval n°* 2.

| | | | |
|---|---|---|---|
| En novembre 1880, repos . | 11,064gr,4 | maximum. | 13,979 gr. le 15 nov. 1880. |
| | | minimum. | 5,789 gr. le 19 nov. 1880. |
| En décembre 1880, marche au pas. . . . . . . . | 13,858gr,6 | maximum. | 16,210 gr. le 24 déc. 1880. |
| | | minimum. | 8,880 gr. le 7 déc. 1880. |
| En janvier 1881, travail au pas. . . . . . . . . . | 17,820gr,3 | maximum. | 21,331 gr. le 23 janv. 1881. |
| | | minimum. | 11,189 gr. le 7 janvier 1881. |
| En février 1881, repos . . | 12,374gr,5 | maximum. | 14,818 gr. le 13 fév. 1881. |
| | | minimum. | 5,528 gr. le 27 fév. 1881. |
| En mars 1881, travail au trot. . . . . . . . . . | 10,409gr | maximum. | 24,121 gr. le 17 mars 1881. |
| | | minimum. | 15,241 gr. le 3 avril 1881. |
| En avril 1881, au repos. . | 10,700gr | maximum. | 17,508 gr. le 21 avril 1881. |
| | | minimum. | 3,348 gr. le 20 avril 1881. |
| En mai 1881, marche au trot. . . . . . . . . . | 15,755gr | maximum. | 22,361 gr. le 4 juin 1881. |
| | | minimum. | 12,024 gr. le 6 juin 1881. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| En juin 1881, travail au trot | 26,706$^{gr}$ | maximum. | 33,678 gr. le 5 juillet 1881. |
| | | minimum. | 21,218 gr. le 19 juin 1881. |
| En juillet 1881, au repos | 21,067$^{gr}$ | maximum. | 27,653 gr. le 16 juillet 1881. |
| | | minimum. | 12,883 gr. le 11 juillet 1881. |
| En août 1881, au camionnage | 30,314$^{gr}$ | maximum. | 40,629 gr. le 4 août 1881. |
| | | minimum. | 17,329 gr. le 16 août 1881. |
| En septembre 1881, au camionnage | 29,311$^{gr}$ | maximum. | 37,019 gr. le 19 sept. 1881. |
| | | minimum. | 21,789 gr. le 10 sept. 1881. |
| En décembre 1881, à la marche au trot | 13.983$^{gr}$ | maximum. | 22,671 gr. le 21 déc. 1881. |
| | | minimum. | 6,121 gr. le 22 déc. 1881. |
| En janvier 1882, à la marche au trot | 10,712$^{gr}$ | maximum. | 21,961 gr. le 6 janvier 1882. |
| | | minimum. | 5,471 gr. le 20 janvier 1882. |
| En fév. 1882, à la voiture | 22,381$^{gr}$ | maximum. | 37,855 gr. le 24 février 1882. |
| | | minimum. | 12,277 gr. le 1$^{er}$ fév. 1882. |
| En mars 1882, à la voiture | 24,921$^{gr}$ | maximum. | 35,785 gr. le 14 mars 1882. |
| | | minimum. | 16,887 gr. le 5 mars 1882. |
| Du 20 avril au 20 mai 1882, au repos | 10,962$^{gr}$ | maximum. | 17,597 gr. le 11 mai 1882. |
| | | minimum. | 3,817 gr. le 28 avril 1882. |
| Du 21 mai au 20 juin 1882, au repos | 13,187$^{gr}$ | maximum. | 19,397 gr. le 4 juin 1882. |
| | | minimum. | 6,887 gr. le 11 juin 1882. |
| Du 21 juin au 18 juillet 1882, au repos | 17,935$^{gr}$ | maximum. | 27,023 gr. le 16 juillet 1882. |
| | | minimum. | 10,983 gr. le 25 juin 1882. |
| Du 19 juillet au 12 août 1882, au repos | 25,405$^{gr}$ | maximum. | 30,403 gr. le 11 août 1882. |
| | | minimum. | 15,963 gr. le 28 juillet 1882. |

3° *Pour le cheval n°* 3.

| | | | |
|---|---|---|---|
| En novembre 1880, au repos. | 10,159$^{gr}$ | maximum. | 13,519 gr. le 24 nov. 1880. |
| | | minimum. | 4,369 gr. le 26 nov. 1880. |
| En décembre 1880, au repos. | 10,622$^{gr}$,5 | maximum. | 13,767 gr. le 11 déc. 1880. |
| | | minimum. | 8,254 gr. le 30 déc. 1880. |
| En janvier 1881, marche au pas | 12,068$^{gr}$,8 | maximum. | 15,168 gr. le 29 janvier 1881. |
| | | minimum. | 6,971 gr. le 19 janvier 1881. |
| En fév. 1881, travail au pas. | 19,092$^{gr}$,8 | maximum. | 22,574 gr. le 16 février 1881. |
| | | minimum. | 15,174 gr. le 20 février 1881. |
| En mars 1881, marche au trot | 16,314$^{gr}$ | maximum. | 19,353 gr. le 11 mars 1881. |
| | | minimum. | 13,073 gr. le 3 avril 1881. |
| En avril 1881, travail au trot | 24,005$^{gr}$ | maximum. | 31,069 gr. le 6 mai 1881. |
| | | minimum. | 19,339 gr. le 3 mai 1881. |
| En mai 1881, au repos | 15,055$^{gr}$ | maximum. | 18,295 gr. le 1$^{er}$ juin 1881. |
| | | minimum. | 10,895 gr. le 28 mai 1881. |
| En juin 1881, travail au trot. | 31,596$^{gr}$ | maximum. | 39,628 gr. le 5 juillet 1881. |
| | | minimum. | 18,878 gr. le 18 juin 1881. |
| En juillet 1881, au repos | 23,262$^{gr}$ | maximum. | 33,863 gr. le 16 juillet 1881. |
| | | minimum. | 15,453 gr. le 28 juillet 1881. |
| En août 1881, au camionnage | 35,565$^{gr}$ | maximum. | 51,939 gr. le 9 août 1881. |
| | | minimum. | 24,889 gr. le 2 août 1881. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| En septembre 1881, au camionnage | $32,055^{gr}$ | maximum. | 36,809 gr. le 14 sept. 1881. |
| | | minimum. | 24,709 gr. le 29 sept. 1881. |
| En déc. 1881, au repos | $10,055^{gr}$ | maximum. | 4,158 gr. le 25 déc. 1881. |
| | | minimum. | 16,418 gr. le 13 déc. 1881. |
| En janv. 1882, au repos | $9,796^{gr}$ | maximum. | 12,698 gr. le 5 janvier 1882. |
| | | minimum. | 7,788 gr. le 21 janvier 1882. |
| En février 1882, au repos | $9,694^{gr}$ | maximum. | 14,248 gr. le 15 fév. 1882. |
| | | minimum. | 7,278 gr. le 24 fév. 1882. |
| En mars 1882, au repos | $11,383^{gr}$ | maximum. | 15,018 gr. le 8 mars 1882. |
| | | minimum. | 8,738 gr. le 2 mars 1882. |
| Du 12 avril au 12 mai 1882, à la voiture | $34,045^{gr}$ | maximum. | 59,933 gr. le 12 mai 1882. |
| | | minimum. | 15,972 gr. le 17 avril 1882. |
| Du 13 mai au 12 juin 1882, à la voiture | $36,389^{gr}$ | maximum. | 52,513 gr. le 22 mai 1882. |
| | | minimum. | 20,422 gr. le 8 juin 1882. |
| Du 21 juin au 18 juill. 1882, à la voiture | $22,222^{gr}$ | maximum. | 27,873 gr. le 4 juillet 1882. |
| | | minimum. | 15,093 gr. le 2 juin 1882. |
| Du 19 juillet au 12 août 1882, à la voiture | $22,531^{gr}$ | maximum. | 29,693 gr. le 31 juillet 1882. |
| | | minimum. | 8,243 gr. le 24 juillet 1882. |

La moyenne journalière d'eau consommée, par les 3 chevaux, dans les différentes conditions de repos, de marche ou de travail, est exprimée par les chiffres suivants :

| | | |
|---|---|---|
| Repos | $10^{k},537$ | = 100 |
| Marche au pas | 11 ,557 | = 109.7 |
| Marche au trot | 15 ,542 | = 147.5 |
| Travail au pas | 17 ,971 | = 170.5 |
| Travail au trot | 22 ,280 | = 211.5 |

Si l'on représente par 100 la quantité moyenne d'eau consommée par cheval et par jour au repos, les quantités d'eau bue dans les diverses autres conditions et par jour sont à l'eau consommée au repos comme les nombres 109.7, 147.5, 170,5, 211.5.

Les causes qui influent d'une façon extrêmement notable sur les quantités d'eau bue par les chevaux de service sont : le travail kilogrammétrique produit, la température de l'atmosphère, l'état de mouvement, de repos. Les minima correspondent à l'état de repos en hiver ; les maxima, aux mois de travail pendant l'été.

Les poids maxima d'eau bue ont été de :

$45^{k}$,693 le 3 juillet 1882 pour le cheval n° 1.
40 ,629 le 4 août 1881 pour le cheval n° 2.
et 59 ,933 le 12 mai 1882 pour le cheval n° 3.

La moyenne mensuelle d'eau bue, pour les mois de travail et de repos, a été de :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Pour le cheval n° 1 | maximum. | 30,226 gr. | du 14 juillet au 12 août 1882. |
| | minimum. | 7,829 gr. | mars 1882. |
| Pour le cheval n° 2 | maximum. | 30,314 gr. | août 1881. |
| | minimum. | 10,700 gr. | avril 1881. |
| Pour le cheval n° 3 | maximum. | 36,389 gr. | du 13 mai au 12 juin 1882. |
| | minimum. | 9,694 gr. | février 1882. |

## *B*. Eau éliminée par le rein. (*Eau de l'urine.*)

Le poids de l'eau contenue dans l'urine a varié dans les proportions suivantes :

### 1° *Pour le cheval n° 1.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Au repos en nov. 1880 | 2,174$^{gr}$,6 | maximum. | 2,520$^{gr}$,4 le 14 nov. 1880. |
| | | minimum. | 1,395$^{gr}$,7 le 19 nov. 1880. |
| Au repos en janv. 1881 | 3,035$^{gr}$,7 | maximum. | 6,699$^{gr}$,3 le 20 janv. 1881. |
| | | minimum. | 1,819$^{gr}$,5 le 29 janv. 1881. |
| Au repos en mars 1881 | 2,761$^{gr}$,4 | maximum. | 3,669$^{gr}$,0 le 20 mars 1881. |
| | | minimum. | 2,240$^{gr}$,5 le 25 mars 1881. |
| A la marche au pas, en février 1881 | 3,004$^{gr}$,3 | maximum. | 3,690$^{gr}$,9 le 11 février 1881. |
| | | minimum. | 2,516$^{gr}$,3 le 16 février 1881. |
| A la marche au trot, en avril 1881 | 3,670$^{gr}$,2 | maximum. | 7,389$^{gr}$,3 le 4 mai 1881. |
| | | minimum. | 2,388$^{gr}$,1 le 30 avril 1881. |
| Au travail au pas, en décembre 1880 | 3,696$^{gr}$,6 | maximum. | 4,165$^{gr}$,5 le 15 déc. 1880. |
| | | minimum. | 2,484$^{gr}$,4 le 7 déc. 1880. |
| Au travail au trot, en mai 1881 | 3,463$^{gr}$,2 | maximum. | 5,622$^{gr}$,7 le 2 juin 1881. |
| | | minimum. | 2,684$^{gr}$,7 le 22 mai 1881. |

### 2° *Pour le cheval n° 2.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Au repos en nov. 1880 | 2,856$^{gr}$,2 | maximum. | 4,564$^{gr}$,4 le 10 nov. 1880. |
| | | minimum. | 1,552$^{gr}$,9 le 21 nov. 1880. |
| Au repos en février 1881 | 4,661$^{gr}$,3 | maximum. | 7,516$^{gr}$,5 le 21 fév. 1881. |
| | | minimum. | 2,317$^{gr}$,9 le 28 fév. 1881. |
| Au repos en avril 1881 | 3,932$^{gr}$,3 | maximum. | 5,620$^{gr}$,9 le 29 avril 1881. |
| | | minimum. | 2,657$^{gr}$,4 le 24 avril 1881. |
| A la marche au pas, en décembre 1880 | 4,238$^{gr}$,9 | maximum. | 6,496$^{gr}$,9 le 23 déc. 1880. |
| | | minimum. | 2,861$^{gr}$,1 le 15 déc. 1880. |
| A la marche au trot, en mai 1881 | 4,124$^{gr}$,7 | maximum. | 6,015$^{gr}$,1 le 30 mai 1881. |
| | | minimum. | 3,614$^{gr}$,7 le 18 mai 1881. |
| Au travail au pas, en janvier 1881 | 3,666$^{gr}$,7 | maximum. | 5,291$^{gr}$,4 le 30 janv. 1881. |
| | | minimum. | 2,052$^{gr}$,0 le 7 janv. 1881. |
| Au travail au trot, en mars 1881 | 3,599$^{gr}$,4 | maximum. | 4,940$^{gr}$,8 le 19 mars 1881. |
| | | minimum. | 2,272$^{gr}$,7 le 16 mars 1881. |

3° *Pour le cheval n° 3.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Au repos, en nov. 1880 | $4,616^{gr},6$ | maximum. | $5,889^{gr},3$ | le 19 nov. 1880. |
| | | minimum. | $2,594^{gr},7$ | le 26 nov. 1880. |
| Au repos, en déc. 1880 | $4,349^{gr},5$ | maximum. | $6,511^{gr},4$ | le 12 déc. 1880. |
| | | minimum. | $2,277^{gr},8$ | le 7 déc. 1880. |
| Au repos, en mai 1881 | $6,880^{gr},5$ | maximum. | $8,888^{gr},9$ | le 23 mai 1881. |
| | | minimum. | $3,913^{gr},1$ | le 19 mai 1881 |
| A la marche au pas, en janvier 1881 | $5,796^{gr},3$ | maximum. | $7,447^{gr},6$ | le 12 janv. 1881. |
| | | minimum. | $3,438^{gr},9$ | le 19 janv. 1881. |
| A la marche au trot, en mars 1881 | $5,215^{gr},8$ | maximum. | $6,640^{gr},0$ | le 22 mars 1881. |
| | | minimum. | $2,679^{gr},3$ | le 20 mars 1881. |
| Au travail au pas, en février 1881 | $6,860^{gr},8$ | maximum. | $9,198^{gr},9$ | le 14 février 1881. |
| | | minimum. | $5,002^{gr},1$ | le 20 février 1881. |
| Au travail au trot, en avril 1881 | $5,096^{gr},3$ | maximum. | $8,027^{gr},0$ | le 6 mai 1881. |
| | | minimum. | $3,192^{gr},0$ | le 17 avril 1881. |

## C. Eau éliminée par l'intestin. (*Eau des fèces.*)

L'eau contenue dans les fèces a donné les moyennes suivantes :

*Cheval n° 1.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Au repos, en nov. 1880 | $3,595^{gr},8$ | maximum. | $4,378^{gr}$ | le 13 nov. 1880. |
| | | minimum. | $2,520^{gr}$ | le 28 nov. 1880. |
| Au repos, en janvier 1881 | $3,308^{gr},4$ | maximum. | $5,574^{gr}$ | le 22 janv. 1881. |
| | | minimum. | $2,348^{gr}$ | le 23 janv. 1881. |
| Au repos, en mars 1881 | $3,194^{gr},8$ | maximum. | $3,740^{gr}$ | le 15 mars 1881. |
| | | minimum. | $2,537^{gr}$ | le 22 mars 1881. |
| A la marche au pas, en février 1881 | $3,874^{gr},8$ | maximum. | $4,675^{gr}$ | le 10 fév. 1881. |
| | | minimum. | $2,924^{gr}$ | le 21 fév. 1881. |
| A la marche au trot, en avril 1881 | $4,025^{gr},7$ | maximum. | $6,729^{gr},7$ | le 14 avril 1881. |
| | | minimum. | $3,050^{gr},3$ | le 22 avril 1881. |
| Au travail au pas, en décembre 1880 | $5,744^{gr},8$ | maximum. | $6,386^{gr}$ | le 25 déc. 1880. |
| | | minimum. | $4,635^{gr}$ | le 13 déc. 1880. |
| Au travail au trot, en mai 1881 | $6,617^{gr},3$ | maximum. | $10,265^{gr},5$ | le 2 juin 1881. |
| | | minimum. | $5,019^{gr},8$ | le 5 juin 1881. |

*Cheval n° 2.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Au repos, en nov. 1880 | $4,728^{gr},2$ | maximum. | $5,705^{gr}$ | le 30 nov. 1880. |
| | | minimum. | $3,534^{gr}$ | le 18 nov. 1880. |
| Au repos, en février 1881 | $5,123^{gr},5$ | maximum. | $6,411^{gr}$ | le 17 février 1881. |
| | | minimum. | $4,177^{gr}$ | le 16 février 1881. |
| Au repos, en avril 1881 | $4,378^{gr},5$ | maximum. | $5,426^{gr},3$ | le 15 avril 1881. |
| | | minimum. | $3,127^{gr},9$ | le 6 mai 1881. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| A la marche au pas, en décembre 1880 . . . . . | 4,744gr,1 | maximum. | 5,788gr | le 31 déc. 1880. |
| | | minimum. | 3,692gr | le 6 déc. 1880. |
| A la marche au trot, en mai 1881 . . . . . . . . . | 4,828gr,3 | maximum. | 5,977gr,9 | le 30 mai 1881. |
| | | minimum. | 4,169gr,7 | le 7 juin 1881. |
| Au travail au pas, en janvier 1881. . . . . . . . | 7,896gr,9 | maximum. | 10,358gr | le 16 janv. 1881. |
| | | minimum. | 5,694gr | le 7 janv. 1881. |
| Au travail au trot, en mars 1881. . . . . . . . . . | 7,027gr | maximum. | 8,995gr | le 22 mars 1881. |
| | | minimum. | 5,055gr | le 23 mars 1881. |

*Cheval n° 3.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Au repos, en nov. 1880. . | 3,451gr,1 | maximum. | 4,393gr | le 21 nov. 1880. |
| | | minimum. | 2,859gr | le 27 nov. 1880. |
| Au repos, en déc. 1880. . | 3,482gr,9 | maximum. | 4,175gr | le 14 déc. 1880. |
| | | minimum. | 2,696gr | le 29 déc. 1880. |
| Au repos, en mai 1881. . | 3,708gr,1 | maximum. | 4,959gr | le 16 mai 1881. |
| | | minimum. | 3,007gr,5 | le 4 juin 1881. |
| A la marche au pas, en janvier 1881. . . . . . . | 3,881gr,2 | maximum. | 4,778gr | le 6 janv. 1881. |
| | | minimum. | 3,060gr | le 11 janv. 1881. |
| A la marche au trot, en mars 1881 . . . . . . . . | 4,257gr | maximum. | 5,925gr | le 1er avril 1881. |
| | | minimum. | 3,460gr | le 16 mars 1881. |
| Au travail au pas, en février 1881 . . . . . . . . | 6,216gr,7 | maximum. | 7,578gr | le 13 mars 1881. |
| | | minimum. | 4,837gr | le 1er mars 1881. |
| Au travail au trot, en avril 1881 . . . . . . . . | 6,304gr,7 | maximum. | 7,431gr,3 | le 20 avril 1881. |
| | | minimum. | 5,334gr,4 | le 16 avril 1881. |

C'est le cheval n° 2 qui a donné les fèces qui contenaient le plus d'eau ; c'est ce même cheval qui a fourni le moins d'eau sous forme d'urine.

### *D.* Eau totale rendue. (*Urine et fèces.*)

Sous cette rubrique, nous comprenons l'eau contenue dans l'urine et l'eau des fèces. Nous ne l'avons déterminée que pour la période allant du 1er novembre 1880 au 7 juin 1881. Elle a été, par jour, en moyenne de :

1° *Pour le cheval n° 1.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Au repos, en nov. 1880. . | 5,770gr,1 | maximum. | 6,724gr,7 | le 13 nov. 1880. |
| | | minimum. | 4,730gr,7 | le 19 nov. 1880. |
| Au repos, en janv. 1881. . | 6,314gr,1 | maximum. | 10,287gr,3 | le 20 janv. 1881. |
| | | minimum. | 4,733gr,8 | le 23 janv. 1881. |
| Au repos, en mars 1881 . | 5,956gr,2 | maximum. | 7,056gr,2 | le 20 mars 1881. |
| | | minimum. | 5,049gr,6 | le 14 mars 1881. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| A la marche au pas, en février 1881 | 6,879$^{gr}$,1 | maximum. | 8,009$^{gr}$,9 | le 11 fév. 1881. |
| | | minimum. | 5,993$^{gr}$,9 | le 14 fév. 1881. |
| A la marche au trot, en avril 1881 | 7,695$^{gr}$,9 | maximum. | 12,068$^{gr}$,1 | le 4 mai 1881. |
| | | minimum. | 6,087$^{gr}$,2 | le 30 avril 1881. |
| Au travail au pas, en décembre 1880 | 9,441$^{gr}$,4 | maximum. | 10,423$^{gr}$,5 | le 15 déc. 1880. |
| | | minimum. | 7,316$^{gr}$,4 | le 7 déc. 1880. |
| Au travail au trot, en mai 1881 | 10,080$^{gr}$,3 | maximum. | 15,888$^{gr}$,2 | le 2 juin 1881. |
| | | minimum. | 8,107$^{gr}$,6 | le 5 juin 1881. |

2° *Pour le cheval n°* 2.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Au repos, en nov. 1880 | 7,584$^{gr}$,4 | maximum. | 10,313$^{gr}$,8 | le 13 nov. 1880. |
| | | minimum. | 6,179$^{gr}$,9 | le 9 nov. 1880. |
| Au repos, en fév. 1881 | 9,784$^{gr}$,8 | maximum. | 12,927$^{gr}$,6 | le 12 fév. 1881. |
| | | minimum. | 7,610$^{gr}$,9 | le 28 fév. 1881. |
| Au repos, en avril 1881 | 8,310$^{gr}$,8 | maximum. | 9,521$^{gr}$,5 | le 5 mai 1881. |
| | | minimum. | 7,284$^{gr}$,5 | le 24 avril 1881. |
| A la marche au pas, en décembre 1880 | 8,983$^{gr}$,0 | maximum. | 11,047$^{gr}$,8 | le 31 déc. 1880. |
| | | minimum. | 7,190$^{gr}$,3 | le 19 déc. 1880. |
| A la marche au trot, en mai 1881 | 9,252$^{gr}$,4 | maximum. | 12,023$^{gr}$ | le 30 mai 1881. |
| | | minimum. | 8,046$^{gr}$ | le 19 mai 1881. |
| Au travail au pas, en janvier 1881 | 11,563$^{gr}$,6 | maximum. | 14,177$^{gr}$,1 | le 10 janv. 1881. |
| | | minimum. | 7,746$^{gr}$,0 | le 7 janv. 1881. |
| Au travail au trot, en mars 1881 | 10,626$^{gr}$,0 | maximum. | 12,881$^{gr}$ | le 22 mars 1881. |
| | | minimum. | 8,557$^{gr}$ | le 21 mars 1881. |

3° *Pour le cheval n°* 3.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Au repos, en nov. 1880 | 8,068$^{gr}$,0 | maximum. | 10,028$^{gr}$,2 | le 21 nov. 1880. |
| | | minimum. | 6,422$^{gr}$,7 | le 26 nov. 1880. |
| Au repos, en déc. 1880 | 7,832$^{gr}$,4 | maximum. | 10,586$^{gr}$,4 | le 12 déc. 1880. |
| | | minimum. | 6,272$^{gr}$,8 | le 7 déc. 1880. |
| Au repos, en mai 1881 | 10,588$^{gr}$,6 | maximum. | 13,477$^{gr}$,7 | le 16 mai 1881. |
| | | minimum. | 7,695$^{gr}$,3 | le 19 mai 1881. |
| A la marche au pas, en janvier 1881 | 9,677$^{gr}$,5 | maximum. | 12,761$^{gr}$,5 | le 10 janv. 1881. |
| | | minimum. | 7,529$^{gr}$,9 | le 19 janv. 1881. |
| A la marche au trot, en mars 1881 | 9,473$^{gr}$,0 | maximum. | 11,514$^{gr}$ | le 1$^{er}$ avril 1881. |
| | | minimum. | 7,163$^{gr}$ | le 13 mars 1881. |
| Au travail au pas, en février 1881 | 13,077$^{gr}$,5 | maximum. | 16,230$^{gr}$,9 | le 14 fév. 1881. |
| | | minimum. | 10,604$^{gr}$,3 | le 1$^{er}$ mars 1881. |
| Au travail au trot, en avril 1881 | 11,401$^{gr}$,0 | maximum. | 13,844$^{gr}$,9 | le 6 mai 1881. |
| | | minimum. | 8,591$^{gr}$,4 | le 16 avril 1881. |

La quantité moyenne journalière d'eau expulsée par le rein et par l'intestin, rapportée aux 3 chevaux dans les différentes conditions de

repos, de marche ou de travail est représentée par les chiffres suivants :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Repos. . . . . . . . . | 7$^{k}$,804, | soit 74.06 | p. 100 de l'eau | consommée. |
| Marche au pas. . . . . | 8 ,513 | — 73.66 | — | — |
| Marche au trot . . . . | 8 ,807 | — 54.77 | — | — |
| Travail au pas. . . . . | 11 ,361 | — 63.22 | — | — |
| Travail au trot. . . . . | 10 ,702 | — 48.03 | — | — |

Le taux centésimal minimum de l'eau expulsée par le rein et par l'intestin correspond au travail au trot, le taux maximum à la période de repos. L'état de marche, de repos, de travail et de mouvement et la température de l'atmosphère sont autant de facteurs qui influent notablement sur la quantité d'eau rendue, comme nous les avons vu influencer la consommation de l'eau par nos chevaux.

*E.* EAU EXPIRÉE ET PERSPIRÉE. (*Voies pulmonaire et cutanée.*)

Le rein et l'intestin ne sont pas les seules voies d'élimination de l'eau consommée par un animal. L'air expiré sort des poumons saturé de vapeur d'eau ; de plus, la transpiration et la perspiration (transpiration insensible) de la peau entraînent une perte incessante d'eau. Lorsqu'un animal, sous l'influence d'une alimentation plus que suffisante pour couvrir les pertes journalières de l'organisme, augmente de poids par suite de formation de chair, une partie de l'eau bue est fixée par les tissus nouveaux. Dans le cours de nos expériences, l'augmentation de poids des chevaux a été nulle ou très faible, et comme elles embrassent toutes une période de 30 jours au moins, nous croyons pouvoir négliger complètement au point de vue de la statique de l'eau, les légères variations de poids constatées.

Il résulte de là que l'on peut considérer comme ayant été éliminés par les poumons et par la peau, les quantités d'eau formant la différence entre les poids d'eau consommés et les poids du même liquide contenus dans l'urine et dans les fèces.

Les quantités moyennes éliminées par jour, par nos chevaux, sous

forme de vapeur d'eau (voies pulmonaire et cutanée), sont les suivantes[1] :

1° *Pour le cheval n° 1.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Au repos | en nov. 1880. . | 2,801gr,5 | maximum. | 5,866gr,7 le 15 nov. 1880. |
| | | | minimum. | 416gr,3 le 8 nov. 1880. |
| | en janv. 1881 . | 1,445gr,6 | maximum. | 4,791gr,9 le 10 janv. 1881. |
| | | | minimum. | 346gr le 31 janv. 1881. |
| | en mars 1881 . | 2,546gr,8 | maximum. | 6,147gr,6 le 18 mars 1881. |
| | | | minimum. | 69gr,4 le 5 avril 1881. |
| A la marche au pas, en février 1881 . . . . . . | | 2,366gr,1 | maximum. | 6,909gr,0 le 3 mars 1881. |
| | | | minimum. | 191gr,4 le 12 fév. 1881. |
| A la marche au trot, en avril 1881 . . . . . . . . | | 6,863gr,1 | maximum. | 12,675gr,8 le 30 avril 1881. |
| | | | minimum. | 2,161gr,8 le 14 avril 1881. |
| Au travail au pas, en déc. 1880. . . . . . . . . | | 7,557gr,3 | maximum. | 16,555gr,3 le 12 déc. 1880. |
| | | | minimum. | 2,581gr,5 le 30 déc. 1880. |
| Au travail au trot, en mai 1881 . . . . . . . | | 13,366gr,2 | maximum. | 24,261gr,4 le 5 juin 1881. |
| | | | minimum. | 8,294gr,5 le 28 mai 1881. |

2° *Pour le cheval n° 2.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Au repos. | en nov. 1880. . | 3,480gr,0 | maximum. | 7,071gr,0 le 15 nov. 1880. |
| | | | minimum. | 479gr,5 le 20 nov. 1880. |
| | en fév. 1881. . | 2,589gr,7 | maximum. | 5,391gr,2 le 13 fév. 1881. |
| | | | minimum. | 537gr,1 le 24 fév. 1881. |
| | en avril 1881. . | 2,389gr,2 | maximum. | 8,779gr,3 le 21 avril 1881. |
| | | | minimum. | 1,332gr,3 le 7 mai 1881. |
| A la marche au pas, en décembre 1880 . . . . . | | 4,875gr,6 | maximum. | 6,909gr,8 le 16 déc. 1880. |
| | | | minimum. | 831gr,5 le 7 déc. 1880. |
| A la marche au trot, en mai 1881 . . . . . . . . . | | 6,502gr,6 | maximum. | 12,918gr,3 le 4 juin 1881. |
| | | | minimum. | 2,493gr,1 le 6 juin 1881. |
| Au travail au pas, en janvier 1881. . . . . . . . | | 6,256gr,7 | maximum. | 9,193gr,9 le 8 janv. 1881. |
| | | | minimum. | 2,685gr,4 le 25 janv. 1881. |
| Au travail au trot, en mars 1881 . . . . . . . . | | 8,783gr,0 | maximum. | 14,086gr le 14 mars 1881. |
| | | | minimum. | 5,388gr le 4 avril 1881. |

1. Il importe aussi de remarquer que la quantité d'eau rendue en un jour a été quelquefois supérieure au poids d'eau consommée ; dans ces cas peu nombreux, du reste, et qui peuvent être considérés comme accidentels, les tissus organiques du cheval ont fourni le déficit. Ces cas se sont présentés pour le cheval n° 1 : les 2, 3, 14, 20 et 30 novembre 1880, les 2, 9, 20, 22 janvier 1881, pendant le repos, les 14, 22, 24, 27 février, 2, 7, 12 mars et 3 avril 1881 ; pour le cheval n° 2 : les 1er et 19 novembre 1880, 1, 12 et 27 février 1881, 6, 18, 20, 24, 27 avril, 1er mai 1881 ; pour le cheval n° 3 : les 1er, 2, 19, 20, 26 novembre, 1er, 8 décembre 1880, 19 et 28 janvier, 16 mai 1881. Ces dates correspondent aux jours dans lesquels les chevaux ont bu les poids minima d'eau.

*3° Pour le cheval n° 3.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Au repos | en nov. 1880. . | $2,091^{gr},0$ | maximum. | $5,655^{gr},3$ le 24 nov. 1880. |
| | | | minimum. | $550^{gr},8$ le 21 nov. 1880. |
| | en déc. 1880. . | $2,790^{gr},1$ | maximum. | $5,875^{gr},5$ le 13 déc. 1880. |
| | | | minimum. | $110^{gr},6$ le 12 déc. 1880. |
| | en mai 1881. . | $4,467^{gr},0$ | maximum. | $7,086^{gr},8$ le 5 juin 1881. |
| | | | minimum. | $260^{gr},9$ le 28 mai 1881. |
| A la marche au pas, en janvier 1881. . . . . . . | | $2,391^{gr},3$ | maximum. | $4,785^{gr},8$ le 29 janv. 1881. |
| | | | minimum. | $270^{gr},2$ le 30 janv. 1881. |
| A la marche au trot, en mars 1881 . . . . . . . . | | $6,838^{gr},0$ | maximum. | $8,821^{gr},0$ le 15 mars 1881. |
| | | | minimum. | $4,485^{gr},0$ le 29 mars 1881. |
| Au travail au pas, en février 1881 . . . . . . | | $6,015^{gr},3$ | maximum. | $8,854^{gr},9$ le 16 fév. 1881. |
| | | | minimum. | $3,050^{gr},9$ le 28 fév. 1881. |
| Au travail au trot, en avril 1881 . . . . . . . . | | $12,604^{gr},0$ | maximum. | $17,224^{gr},1$ le 6 mai 1881. |
| | | | minimum. | $7,372^{gr},7$ le 3 mai 1881. |

Les écarts que présentent ces nombres sont parfois considérables; il est toutefois aisé de se rendre compte de ces différences, si l'on remarque qu'elles dépendent de deux facteurs éminemment variables : la quantité d'eau bue et le poids de l'urine excrétée.

Il ne pourrait y avoir quelque constance dans ces nombres qu'autant que l'animal aurait bu à peu près le même volume d'eau chaque jour et rendu exactement l'excès de l'eau qui n'a pas été vaporisée. Mais ces irrégularités disparaissent si, après une expérience suffisamment prolongée, on ne tient compte que des moyennes.

L'eau provenant des tissus organiques, qui a été éliminée dans les quelques cas que nous avons cités, peut quelquefois atteindre un poids notable. Ainsi, pour n'en citer qu'un exemple, le cheval n° 1 aurait perdu de cette façon 8,740 grammes le 22 janvier. On se rappelle que cet accident physiologique a été occasionné par une frayeur. Cette perte et celle des 15, 16 et 17 mars 1882 suffisent amplement pour donner une idée de l'effet que peuvent produire des influences fâcheuses sur l'état psychique du cheval.

De l'examen de ces nombres, il ressort que, pour un même travail kilogrammétrique, le mode de mouvement suivant lequel ce travail est produit exerce une notable influence sur le poids d'eau perspirée. Ainsi, on voit que pour les trois chevaux, pendant la marche au trot ou le travail au trot, la quantité d'eau perspirée a été cons-

tamment supérieure à celle trouvée pour la marche au pas ou le travail au pas. Cette différence est très importante à constater ; nous y reviendrons plus loin lorsque nous nous occuperons de la relation qui lie les éléments de nos rations au travail kilogrammétrique produit et à la constance du poids du cheval.

Le tableau suivant résume, pour les trois chevaux en expériences, les quantités d'eau bue, rendue par l'urine et par les fèces, expirée et perspirée, par jour et par cheval :

| | Eau consommée. | Eau rendue par l'urine et les fèces. | Pour cent de l'eau. consommée. | Eau expirée et perspirée. | Pour cent de l'eau consommée. |
|---|---|---|---|---|---|
| Repos. . . . . | $10^k$,537 | $7^k$,804 | 74.06 | $2^k$,733 | 25.94 |
| Marche au pas. | 11 ,557 | 8 ,513 | 73.66 | 3 ,044 | 26.34 |
| Marche au trot. | 15 ,542 | 8 ,807 | 54.77 | 7 ,735 | 45.23 |
| Travail au pas. | 17 ,971 | 11 ,361 | 63.22 | 6 ,610 | 36.78 |
| Travail au trot. | 22 ,280 | 10 ,702 | 48.03 | 11 ,578 | 51.97 |

Dans le travail au trot, plus de moitié de l'eau consommée est expulsée du corps par les voies pulmonaire et cutanée, tandis que le quart seulement de l'eau bue est éliminé par les mêmes voies, dans l'état de repos.

## II. Statique de l'azote.

Absolument indispensables dans l'alimentation de tous les animaux, les substances azotées y remplissent des fonctions sur lesquelles, malgré les nombreux travaux publiés jusqu'à ce jour, les physiologistes ne sont pas encore d'accord. Les uns, en effet, considèrent les matières protéiques comme la source exclusive de la force musculaire, tandis que d'autres ne veulent y voir que les éléments réparateurs de l'*instrument* qui transmet et métamorphose la force sans la produire, c'est-à-dire du muscle, et attribuent l'origine de la force, du mouvement ou de la chaleur, ce qui est tout un, aux principes hydrocarbonés des aliments (amidon, matières grasses, sucre, etc.). Suivant la solution définitive que l'expérience, seule juge irrécusable, donnera à cette question, la *ration de travail* devra contenir des quantités très différentes, pour ainsi dire inversement proportionnelles, de principes azotés ou de principes hydrocarbonés. L'im-

portance pratique et économique de cette solution, alors qu'il s'agit d'une cavalerie de plus de 10,000 chevaux de service, ne saurait échapper à l'observateur le plus superficiel. Les substances azotées, dans les fourrages, se payant un prix beaucoup plus élevé, quintuple ou sextuple, du prix de l'amidon et de ses congénères, triple de celui des matières grasses, on voit, par là, l'intérêt capital que présente, pour la Compagnie générale, l'étude du rôle de la matière azotée dans la production du travail utile du cheval. La substance protéique doit-elle être définitivement considérée comme la source de la force musculaire ? il faut nécessairement la faire entrer en très large proportion dans la ration du travail ; est-ce au contraire, le carbone, l'hydrogène des aliments qui, par leur oxydation et par leurs transformations dans la nutrition engendrent la force et le mouvement et couvrent les pertes résultant du *travail?* ce sont les matériaux carbonés et hydrogénés dont il faudra accroître la quantité dans la ration, proportionnellement au travail réclamé de l'animal. Le prix de revient de la ration variera notablement suivant la réponse que l'expérience donnera à l'une ou l'autre de ces hypothèses.

La solution rigoureuse de ce problème fondamental est entourée de grandes difficultés dont il nous faut dire quelques mots. L'azote de l'air n'intervenant directement en rien dans les phénomènes de la nutrition des animaux, pas plus que dans la nutrition des plantes, c'est dans les matières azotées des aliments seules que l'animal puise l'azote de ses tissus. L'organisme, en voie de transformation incessante, détruit les substances azotées des aliments, en produit, à l'aide de leurs éléments, de nouvelles qui se dédoublent et se détruisent à leur tour, et finalement l'azote qui ne *sert plus* au fonctionnement des organes s'élimine du sang par un appareil spécial, le rein et ses annexes[1].

On peut donc trouver, dans la quantité d'azote éliminée chaque jour par l'urine du corps d'un animal, la mesure exacte de l'utilisation de l'azote chez cet animal, c'est-à-dire l'indication précise du

1. L'azote des fèces n'entre pas en ligne de compte dans ces transformations ; il est éliminé, par défaut d'assimilation, sans avoir été utilisé par l'organisme.

poids d'azote mis en jeu sous l'influence de la vie par les phénomènes complexes dont l'ensemble constitue l'acte de la nutrition. Pour qu'il en soit ainsi, il faut préalablement que l'expérience établisse si la totalité de l'azote est éliminée par le rein et s'il n'en est point rejeté dans l'atmosphère à l'état d'azote gazeux ou sous d'autres formes par les voies pulmonaire et cutanée. La première opinion, celle d'après laquelle tout l'azote *qui a servi* à l'organisme est rejeté au dehors dans l'urine sans qu'il y ait élimination d'azote par le poumon, est admise presque universellement par les physiologistes, et Lavoisier déjà l'avait exprimée en disant : « Il n'y a ni dégagement ni absorption d'azote pendant la respiration[1]. » Cette manière de voir ne rencontre plus que de rares contradicteurs et nous verrons plus loin qu'elle semble confirmée à nouveau par nos expériences de longue durée sur la statique de l'azote chez le cheval. Ce n'est point le lieu d'entrer dans la discussion de cette question et d'exposer les expériences sur lesquelles reposent l'opinion généralement admise à ce sujet : nous y reviendrons plus tard.

L'intérêt qui s'attache à la détermination exacte du rôle de l'azote dans l'alimentation, les conséquences économiques qui découlent d'une étude de ce genre nous ont conduit à ne reculer devant aucun labeur pour conduire à bien cette partie de nos expériences. Nous ne nous sommes laissé décourager ni par les difficultés que présente la récolte de l'urine durant des mois chez des chevaux au repos, à la marche ou au travail, pas plus que par le nombre énorme des dosages d'azote sous ses diverses formes auxquels il fallait procéder durant ces expériences de longue haleine, sans aucune interruption.

Nous pensons que les résultats obtenus, si imparfaits qu'ils puissent paraître encore, ont une importance réelle à raison des conditions, absolument comparables entre elles pour les divers états (travail, repos, marche), dans lesquelles ils ont été constatés et que, tels qu'ils sont, ils conduisent à des applications pratiques dont la va-

---

1. Lavoisier et Séguin, *Œuvres complètes,* t. II, p. 694. 1789.

Les expériences de Lavoisier et Séguin ont montré, il y a près d'un siècle déjà, que les phénomènes de la vie animale se continuent dans une atmosphère oxygénée dont l'azote est remplacé par l'hydrogène. (V. Lavoisier, *Œuvres complètes,* t. II.)

leur nous dédommage des longueurs parfois fastidieuses de semblables recherches.

Nous nous sommes efforcés de déterminer aussi complètement que possible les produits de désassimilation des substances azotées chez le cheval. Nos dosages ont porté : 1° sur l'azote total de l'urine ; 2° sur l'urée ; 3° sur l'acide hippurique ; 4° sur la créatinine dont aucun expérimentateur ne paraît s'être préoccupé avant nous chez les animaux de service. Malgré toutes les précautions dont nous nous sommes entourés et par suite de l'imperfection des méthodes de dosage de l'acide hippurique et de la créatinine, nos dosages ont incontestablement donné, pour ces deux composés en particulier, *des chiffres trop bas*. Nous n'avons pas la prétention d'avoir atteint une exactitude absolue dans ces déterminations. La limite des erreurs peut atteindre $^1/_{10}$ peut-être pour le dosage de l'azote de certains produits. Mais il ne faut pas perdre de vue que le point capital, dans des expériences du genre de celles que nous avons entreprises pour résoudre les problèmes que le Conseil nous avait donné mission d'étudier, est d'opérer dans des conditions identiques, par les mêmes méthodes, de façon à rendre les résultats comparables entre eux ; nous ne nous sommes jamais départis de cette règle, aussi nous croyons-nous autorisés à tirer de ces expériences comparatives des conclusions rigoureuses, malgré l'imperfection de quelques-uns des procédés de dosage que nous avons employés, faute de mieux.

Nous allons maintenant, après ces réflexions préliminaires qui nous ont semblé indispensables, examiner, dans l'ordre suivant, les divers points sur lesquels ont porté nos études de la statique de l'azote.

1. Variations du poids d'urée, d'acide hippurique et de créatinine éliminés par jour par chacun de nos trois chevaux, à l'état de repos, de marche, ou de travail au pas et au trot.

2. Variation du poids d'azote total éliminé par le rein et par l'intestin (urine et fèces) dans les mêmes conditions diverses.

3. Utilisation des matières azotées pour la production du travail.

4. Causes des déficits entre les poids d'azote consommé dans les fourrages et retrouvé dans l'urine et dans les fèces.

5. Variations dans le taux de chlore, d'acide sulfurique et d'a-

cide phosphorique éliminés par l'urine, au repos, à la marche et au travail.

Dans les tableaux qui vont suivre, nous n'indiquerons, pour éviter les longueurs et suivant les points de vue auxquels nous nous placerons, que les principes immédiats azotés de l'urine ou que leurs taux d'azote.

Nous rappelons que l'urée correspondant à un poids d'azote s'obtient en multipliant ce poids d'azote par 2,1427 ; la créatinine correspondant à un poids d'azote s'obtient en multipliant ce poids d'azote par 2,690 ; l'acide hippurique correspondant à un poids d'azote s'obtient en multipliant ce poids d'azote par 12,7877.

## 1° Urée.

*Cheval n° 1.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Au repos | en novemb. 1880. | 108gr,28 | maximum. | 126gr,32 le 17 nov. 1880. |
| | | | minimum. | 85gr,88 le 8 nov. 1880. |
| | en janvier 1881. | 117gr,75 | maximum. | 142gr,23 le 25 janvier 1881. |
| | | | minimum. | 69gr,75 le 29 janvier 1881. |
| | en mars 1881. . | 121gr,0 | maximum. | 140gr,60 le 4 avril 1881. |
| | | | minimum. | 102gr,36 le 25 mars 1881. |
| A la marche au pas, en février 1881 . . . . . . | | 133gr,56 | maximum. | 176gr,66 le 2 mars 1881. |
| | | | minimum. | 104gr,26 le 7 février 1881. |
| A la marche au trot, en avril 1881 . . . . . . | | 140gr,53 | maximum. | 159gr,54 le 29 avril 1881. |
| | | | minimum. | 125gr,44 le 28 avril 1881. |
| Au travail au pas, en décembre 1880. . . . . . . | | 170gr, 4 | maximum. | 196gr,83 le 14 déc. 1880. |
| | | | minimum. | 135gr,48 le 7 déc. 1880. |
| Au travail au trot, en mai 1881. . . . . . . . . | | 163gr,43 | maximum. | 209gr,172 le 6 juin 1881. |
| | | | minimum. | 137gr,99 le 22 mai 1881. |

*Cheval n° 2.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Au repos | en novemb. 1880. | 81gr,29 | maximum. | 101gr,29 le 5 nov. 1880. |
| | | | minimum. | 47gr,35 le 24 nov. 1880. |
| | en février 1881. | 88gr,77 | maximum. | 116gr,32 le 16 février 1881. |
| | | | minimum. | 52gr,70 le 14 février 1881. |
| | en avril 1881. . | 107gr,97 | maximum. | 122gr,75 le 27 avril 1881. |
| | | | minimum. | 80gr,01 le 19 avril 1881. |
| A la marche au pas, en décembre 1880. . . . . . | | 115gr,75 | maximum. | 143gr,84 le 8 déc. 1880. |
| | | | minimum. | 90gr,39 le 31 déc. 1880. |
| A la marche au trot, en mai 1881. . . . . . . . . | | 120gr,65 | maximum. | 134gr,62 le 27 mai 1881. |
| | | | minimum. | 94gr,86 le 25 mai 1881. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Au travail au pas, en janvier 1881 | 124$^{gr}$,36 | maximum. | 157$^{gr}$,36 le 19 janv. 1881. |
| | | minimum. | 88$^{gr}$,86 le 17 janv. 1881. |
| Au travail au trot, en mars 1881 | 137$^{gr}$,34 | maximum. | 156$^{gr}$,09 le 15 mars 1881. |
| | | minimum. | 115$^{gr}$,21 le 21 mars 1881. |

*Cheval n° 3.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Au repos, en novemb. 1880. | 113$^{gr}$,69 | maximum. | 141$^{gr}$,39 le 16 nov. 1880. |
| | | minimum. | 83$^{gr}$,60 le 26 nov. 1880. |
| Au repos, en décemb. 1880. | 108$^{gr}$,94 | maximum. | 123$^{gr}$,48 le 6 déc. 1880. |
| | | minimum. | 85$^{gr}$,99 le 7 déc. 1880. |
| Au repos, en mai 1881. | 119$^{gr}$,63 | maximum. | 134$^{gr}$,52 le 18 mai 1881. |
| | | minimum. | 103$^{gr}$,33 le 29 mai 1881. |
| A la marche au pas, en janvier 1881 | 121$^{gr}$,17 | maximum. | 153$^{gr}$,87 le 28 janvier 1881. |
| | | minimum. | 98$^{gr}$,00 le 22 janvier 1881. |
| A la marche au trot, en mars 1881 | 127$^{gr}$,02 | maximum. | 150$^{gr}$,70 le 14 mars 1881. |
| | | minimum. | 97$^{gr}$,36 le 20 mars 1881. |
| Au travail au pas, en février 881 | 156$^{gr}$,44 | maximum. | 188$^{gr}$,73 le 17 février 1881. |
| | | minimum. | 89$^{gr}$,37 le 7 février 1881. |
| Au travail au trot, en avril 1881 | 167$^{gr}$,92 | maximum. | 189$^{gr}$,20 le 6 mai 1881. |
| | | minimum. | 133$^{gr}$,94 le 12 avril 1881. |

## 2° Acide hippurique.

*Cheval n° 1.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Au repos, en novemb. 1880. | 9$^{gr}$,96 | maximum. | 17$^{gr}$,77 le 9 nov. 1880. |
| | | minimum. | 6$^{gr}$,54 le 10 nov. 1880. |
| Au repos, en janvier 1881. | 12$^{gr}$,28 | maximum. | 28$^{gr}$,39 le 23 janv. 1881. |
| | | minimum. | 7$^{gr}$,03 le 29 janv. 1881. |
| Au repos, en mars 1881. | 13$^{gr}$,92 | maximum. | 30$^{gr}$,43 le 11 mars 1881. |
| | | minimum. | 6$^{gr}$,41 le 15 mars 1881. |
| A la marche au pas, en février 1881 | 11$^{gr}$,32 | maximum. | 30$^{gr}$,40 le 2 mars 1881. |
| | | minimum. | 4$^{gr}$,96 le 27 fevrier 1881. |
| A la marche au trot, en avril 1881 | 14$^{gr}$,09 | maximum. | 23$^{gr}$,02 le 18 avril 1881. |
| | | minimum. | 7$^{gr}$,97 le 29 avril 1881. |
| Au travail au pas, en décembre 1880 | 15$^{gr}$,49 | maximum. | 31$^{gr}$,59 le 31 déc. 1880. |
| | | minimum. | 8$^{gr}$,31 le 12 déc. 1880. |
| Au travail au trot, en mai 1881 | 18$^{gr}$,84 | maximum. | 33$^{gr}$,52 le 6 juin 1881. |
| | | minimum. | 6$^{gr}$,34 le 3 juin 1881. |

*Cheval n° 2.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Au repos, en novemb. 1880. | 10$^{gr}$,87 | maximum. | 17$^{gr}$,52 le 6 nov. 1880. |
| | | minimum. | 5$^{gr}$,88 le 29 nov. 1880. |
| Au repos, en février 1881. | 9$^{gr}$,91 | maximum. | 16$^{gr}$,75 le 10 février 1881. |
| | | minimum. | 5$^{gr}$,50 le 6 février 1881. |
| Au repos, en avril 1881. | 13$^{gr}$,68 | maximum. | 31$^{gr}$,41 le 18 avril 1881. |
| | | minimum. | 7$^{gr}$,85 le 13 avril 1881. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| A la marche au pas, en décembre 1880. . . . . . | 13$^{gr}$,21 | maximum. | 21$^{gr}$,74 le 15 déc. 1880. |
| | | minimum. | 8$^{gr}$,82 le 14 déc. 1880. |
| A la marche au trot, en mai 1881. . . . . . . . . . | 10$^{gr}$,42 | maximum. | 16$^{gr}$,00 le 13 mai 1881. |
| | | minimum. | 7$^{gr}$,42 le 28 mai 1881. |
| Au travail au pas, en janvier 1881. . . . . . . . . . | 17$^{gr}$,50 | maximum. | 38$^{gr}$,36 le 13 janv. 1881. |
| | | minimum. | 4$^{gr}$,48 le 7 janv. 1881. |
| Au travail au trot, en mars 1881. . . . . . . . . . | 15$^{gr}$,14 | maximum. | 24$^{gr}$,62 le 11 mars 1881. |
| | | minimum. | 9$^{gr}$,17 le 16 mars 1881. |

*Cheval n° 3.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Au repos, en novemb. 1880. | 9$^{gr}$,38 | maximum. | 16$^{gr}$,24 le 7 nov. 1880. |
| | | minimum. | 5$^{gr}$,12 le 26 nov. 1880. |
| Au repos, en décemb. 1880. | 9$^{gr}$,72 | maximum. | 17$^{gr}$,14 le 17 déc. 1880. |
| | | minimum. | 6$^{gr}$,78 les 7, 25, 30 déc. 1880. |
| Au repos, en mai 1881 . . | 11$^{gr}$,93 | maximum. | 16$^{gr}$,09 le 23 mai 1881. |
| | | minimum. | 8$^{gr}$,34 le 6 juin 1881. |
| A la marche au pas, en janvier 1881. . . . . . . . | 11$^{gr}$,38 | maximum. | 16$^{gr}$,54 le 30 janv. 1881. |
| | | minimum. | 6$^{gr}$,36 le 14 janv. 1881. |
| A la marche au trot, en mars 1881. . . . . . . . . . | 11$^{gr}$,74 | maximum. | 29$^{gr}$,50 le 2 avril 1881. |
| | | minimum. | 7$^{gr}$,84 le 1$^{er}$ avril 1881. |
| Au travail au pas, en février 1881. . . . . . . . . . | 12$^{gr}$,21 | maximum. | 21$^{gr}$,76 le 13 février 1881. |
| | | minimum. | 8$^{gr}$,74 le 21 février 1881. |
| Au travail au trot, en avril 1881. . . . . . . . . . | 16$^{gr}$,84 | maximum. | 31$^{gr}$,69 le 24 avril 1881. |
| | | minimum. | 8$^{gr}$,68 le 17 avril 1881. |

## 3° Créatinine.

*Cheval n° 1.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Au repos, en novemb. 1880. | 3$^{gr}$,95 | maximum. | 7$^{gr}$,05 le 30 nov. 1880. |
| | | minimum. | 2$^{gr}$,01 le 21 nov. 1880. |
| Au repos, en janvier 1881. | 4$^{gr}$,97 | maximum. | 7$^{gr}$,96 le 11 janv. 1881. |
| | | minimum. | 1$^{gr}$,35 le 27 janv. 1881. |
| Au repos, en mars 1881. . | 4$^{gr}$,75 | maximum. | 7$^{gr}$,09 le 21 mars 1881. |
| | | minimum. | 1$^{gr}$,70 le 22 mars 1881. |
| A la marche au pas, en février 1881. . . . . . . . | 4$^{gr}$,38 | maximum. | 8$^{gr}$,05 le 15 février 1881. |
| | | minimum. | 1$^{gr}$,69 le 27 février 1881. |
| A la marche au trot, en avril 1881. . . . . . . . . . | 5$^{gr}$,04 | maximum. | 9$^{gr}$,26 le 13 avril 1881. |
| | | minimum. | 0$^{gr}$,15 le 4 mai 1881. |
| Au travail au pas, en décembre 1880. . . . . . . | 4$^{gr}$,25 | maximum. | 6$^{gr}$,86 le 6 déc. 1880. |
| | | minimum. | 0$^{gr}$,38 le 21 déc. 1880. |
| Au travail au trot, en mai 1881. . . . . . . . . . . | 4$^{gr}$,80 | maximum. | 6$^{gr}$,71 le 24 mai 1881. |
| | | minimum. | 1$^{gr}$,70 le 31 mai 1881. |

*Cheval n° 2.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Au repos | en nov. 1880 . . | 3$^{gr}$,09 | maximum. | 5$^{gr}$,70 le 10 nov. 1880. |
| | | | minimum. | 1$^{gr}$,00 le 15 nov. 1880. |
| | en février 1881 . | 6$^{gr}$,36 | maximum. | 9$^{gr}$,23 le 16 février 1881. |
| | | | minimum. | 1$^{gr}$,56 le 6 février 1881. |
| | en avril 1881 . . | 3$^{gr}$,51 | maximum. | 6$^{gr}$,43 le 12 avril 1881. |
| | | | minimum. | 1$^{gr}$,02 le 28 avril 1881. |
| A la marche au pas, en décembre 1880 . . . . . . | | 5$^{gr}$,47 | maximum. | 7$^{gr}$,43 le 21 déc. 1880. |
| | | | minimum. | 0$^{gr}$,29 le 24 déc. 1880. |
| A la marche au trot, en mai 1881. . . . . . . . . | | 2$^{gr}$,00 | maximum. | 6$^{gr}$,17 le 13 mai 1881. |
| | | | minimum. | 0$^{gr}$,16 le 31 mai 1881. |
| Au travail au pas, en janvier 1881 . . . . . . . . . | | 5$^{gr}$,47 | maximum. | 7$^{gr}$,24 le 19 janvier 1881. |
| | | | minimum. | 3$^{gr}$,31 le 26 janvier 1881. |
| Au travail au trot, en mars 1881 . . . . . . . . . | | 6$^{gr}$,09 | maximum. | 10$^{gr}$,33 le 22 mars 1881. |
| | | | minimum. | 1$^{gr}$,54 le 4 avril 1881. |

*Cheval n° 3.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Au repos | en nov. 1880 . . | 5$^{gr}$,29 | maximum. | 9$^{gr}$,18 le 10 nov. 1880. |
| | | | minimum. | 2$^{gr}$,15 le 26 nov. 1880. |
| | en déc. 1880 . . | 5$^{gr}$,10 | maximum. | 6$^{gr}$,81 le 6 déc. 1880. |
| | | | minimum. | 0$^{gr}$,46 le 24 déc. 1880. |
| | en mai 1881 . . | 1$^{gr}$,12 | maximum. | 4$^{gr}$,20 le 26 mai 1881. |
| | | | minimum. | 0$^{gr}$,22 le 2 juin 1881. |
| A la marche au pas, en janvier 1881 . . . . . . . | | 5$^{gr}$,77 | maximum. | 7$^{gr}$,41 le 16 janvier 1881. |
| | | | minimum. | 3$^{gr}$,21 le 14 janvier 1881. |
| A la marche au trot, en mars 1881. . . . . . . . . | | 6$^{gr}$,12 | maximum. | 9$^{gr}$,81 le 24 mars 1881. |
| | | | minimum. | 1$^{gr}$,54 le 28 mars 1881. |
| Au travail au pas, en février 1881. . . . . . . . . | | 5$^{gr}$,63 | maximum. | 8$^{gr}$,07 le 14 février 1881. |
| | | | minimum. | 2$^{gr}$,59 le 13 février 1881. |
| Au travail au trot, en avril 1881. . . . . . . . . | | 4$^{gr}$,58 | maximum. | 7$^{gr}$,68 le 16 avril 1881. |
| | | | minimum. | 0$^{gr}$,32 le 6 mai 1881. |

Afin de rendre plus facilement comparables entre eux les poids d'urée, d'acide hippurique et de créatinine excrétés par nos trois chevaux au repos, à la marche au pas et au trot, au travail au pas et au trot, nous réunissons ci-dessous les moyennes obtenues pour les trois chevaux à ces divers états.

| Excrété en 24 heures. | Repos. | Marche au pas. | Marche au trot. | Travail au pas. | Travail au trot. |
|---|---|---|---|---|---|
| Urée. . . . . . . . . . . . . | 107$^{gr}$,49 | 123$^{gr}$,49 | 129$^{gr}$,40 | 150$^{gr}$,40 | 156$^{gr}$,23 |
| Acide hippurique. . . . . . | 11, 44 | 12 ,00 | 12 ,08 | 15 ,08 | 16 ,94 |
| Créatinine . . . . . . . . . | 4, 24 | 5 ,20 | 4 ,41 | 5 ,11 | 5 ,15 |
| Urée excrétée, p. 100 d'azote ingéré. . . . . . . . . . | 116 ,1 | 121 ,9 | 116 ,2 | 108 ,6 | 114 ,5 |
| Azote éliminé, p. 100 d'azote ingéré . . . . . . . . . | 62 ,4 | 67 ,7 | 64 ,9 | 60 ,9 | 59 ,2 |

Ces chiffres montrent nettement que le taux d'urée excrétée augmente, absolument parlant, pendant la marche au pas ou au trot et pendant le travail dans les mêmes conditions, mais qu'il varie beaucoup moins si on le rapporte à la quantité d'azote ingéré. La quantité d'urée excrétée, en effet, est sensiblement la même dans les diverses conditions de repos, de marche et de travail, si l'on envisage les quantités excrétées rapportées à un même taux d'azote entrant dans l'alimentation. Nous reviendrons sur ce point important lorsque nous discuterons la nutrition du cheval au point de vue de la production du travail mécanique.

Si l'on rapproche les taux d'urée excrétée des variations des poids vifs des chevaux, on n'observe aucune corrélation entre les nombres constatés par la balance. Les poids minima des chevaux ne correspondent pas au taux maxima d'urée excrétée, de même au poids maximum du cheval ne correspond pas le poids le moins élevé d'urée. Cela prouve incontestablement que, chez le cheval qui se maintient en bon état, les pertes ou les gains de poids momentanés portent presque exclusivement sur l'eau.

Nous examinerons plus loin ce qu'il faut penser, d'après ces expériences, de l'usure de la chair (substance azotée du muscle). Pour le moment, nous nous bornons à constater des faits qui nous semblent une confirmation manifeste de cette proposition de J. R. Mayer : « Le muscle est l'instrument au moyen duquel se métamorphose la force, *mais il n'est pas la substance qui produit la force*[1]. »

Il est évident que si la perte si forte du cheval n° 1 du 22 janvier 1881, par exemple, était due en entier à une usure des muscles, les produits de désassimilation de ces derniers devraient se retrouver dans l'urine sous forme d'urée, d'acide hippurique et de créatinine, de sorte que l'urine de cette date devrait renfermer les maxima de chacun de ces éléments. Or, on n'observe rien de semblable pour l'urée et la créatinine rendues les 22 et 23 janvier ; l'acide hippurique seul a augmenté notablement le 23 janvier[2], et les faibles augmenta-

1. J. R. Mayer, fondateur de la théorie mécanique de la chaleur. (V. *Mouvement organique dans ses rapports avec la nutrition,* p. 54.)

2. La frayeur est presque toujours accompagnée d'une diminution dans la combus-

tions d'urée et de créatinine dans les urines du 24 et du 25 janvier seraient insuffisantes pour expliquer autrement que par variation d'eau la perte de 13 kilogrammes du cheval n° 1, le 22 janvier.

En ce qui concerne l'acide hippurique et la créatinine, les écarts sont beaucoup moins notables que ceux de l'urée. Le taux moyen de créatinine éliminée semble rester constant chez nos trois chevaux aux divers états, celui de l'acide hippurique augmentant sensiblement pendant les périodes de travail. Toutefois, les procédés de séparation et de dosage de ces deux composés azotés sont trop imparfaits encore pour que nous puissions, dès à présent, tirer des conclusions définitives de ces expériences, en ce qui regarde ces deux corps.

En appliquant aux nombres précédents les coefficients que nous avons indiqués, on obtient les poids d'azote contenus dans l'urée, l'acide hippurique et la créatinine. Aux principes azotés de l'urine, à la matière colorante, aux débris de cellules épithéliales, au phosphate ammoniaco-magnésien, qui sont les éléments constants et normaux de l'urine, peuvent s'ajouter, mais plus rarement, des corps tels que la cystine, la tyrosine, les acides biliaires, etc., dont il faudrait rigoureusement tenir compte dans l'étude de la statique de l'azote. Comme la séparation de ces corps qui, du reste, existent dans l'urine en très faible proportion, est très longue, difficile et, de plus, peu exacte, nous avons dosé aussi en bloc l'azote total. Les résultats que nous avons obtenus sont, comme il était facile de le prévoir, supérieurs à ceux que nous a donnés le dosage individuel de l'urée, de l'acide hippurique et de la créatinine. Les différences sont éminemment variables et quelquefois considérables. Elles sont dues, d'une part, à l'incertitude des dosages de l'acide hippurique et de la créatinine, incertitude que nous évaluons être au minimum de $^1/_{10}$, et, d'autre part, à la présence, en quantité variable, des corps énumérés ci-dessus et que nous n'avons pu doser séparément.

Quoi qu'il en soit, le dosage direct de l'azote total a donné les résultats moyens suivants :

---

tion : peut-être y a-t-il là une corrélation entre cette diminution et l'élimination exagérée de l'acide hippurique beaucoup plus riche en carbone et beaucoup plus pauvre en azote que l'urée.

*Cheval n° 1.*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Au repos | en novemb. 1880. | $59^{gr},23$ | maximum. | $67^{gr},14$ | le 5 nov. 1880. |
| | | | minimum. | $51^{gr},06$ | le 30 nov. 1880. |
| | en janvier 1881. . | $65^{gr},088$ | maximum. | $77^{gr},44$ | le 25 janvier 1881. |
| | | | minimum. | $40^{gr},07$ | le 29 janvier 1881. |
| | en mars 1881. . . | $64^{gr},676$ | maximum. | $74^{gr},466$ | le 19 mars 1881. |
| | | | minimum. | $54^{gr},924$ | le 25 mars 1881. |
| A la marche au pas, en février 1881 . . . . . . . | | $75^{gr},044$ | maximum. | $96^{gr},64$ | le 2 mars 1881. |
| | | | minimum. | $60^{gr},83$ | le 16 février 1881. |
| A la marche au trot, en avril 1881. . . . . . . . . . | | $72^{gr},741$ | maximum. | $86^{gr},258$ | le 3 mai 1881. |
| | | | minimum. | $62^{gr},907$ | le 30 avril 1881. |
| Au travail au pas, en décembre 1880. . . . . . . . . . | | $92^{gr},289$ | maximum. | $103^{gr},57$ | le 14 déc. 1880. |
| | | | minimum. | $70^{gr},26$ | le 7 déc. 1880. |
| Au travail au trot, en mai 1881. | | $82^{gr},430$ | maximum. | $99^{gr},443$ | le 6 juin 1881. |
| | | | minimum. | $67^{gr},995$ | le 22 mai 1881. |

*Cheval n° 2.*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Au repos | en novemb. 1880. | $44^{gr},50$ | maximum. | $60^{gr},36$ | le 23 nov. 1880. |
| | | | minimum. | $31^{gr},22$ | le 23 nov. 1880. |
| | en février 1881. . | $53^{gr},48$ | maximum. | $65^{gr},88$ | le 12 février 1881. |
| | | | minimum. | $37^{gr},09$ | le 3 mars 1881. |
| | En avril 1881 . . | $56^{gr},042$ | maximum. | $65^{gr},051$ | le 18 avril 1881. |
| | | | minimum. | $45^{gr},047$ | le 17 avril 1881. |
| A la marche au pas, en déc. 1881. . . . . . . . . . | | $63^{gr},74$ | maximum. | $76^{gr},91$ | le 8 déc. 1880. |
| | | | minimum. | $52^{gr},82$ | le 27 déc. 1880. |
| A la marche au trot, en mai 1881. . . . . . . . . . | | $60^{gr},258$ | maximum. | $66^{gr},213$ | le 3 juin 1881. |
| | | | minimum. | $42^{gr},436$ | le 25 mai 1881. |
| Au travail au pas, en janvier 1881. . . . . . . . . . | | $68^{gr},92$ | maximum. | $89^{gr},61$ | le 21 janvier 1881. |
| | | | minimum. | $44^{gr},70$ | le 7 janvier 1881. |
| Au travail au trot, en mars 1881. . . . . . . . . . | | $74^{gr},319$ | maximum. | $86^{gr},218$ | le 2 avril 1881. |
| | | | minimum. | $64^{gr},566$ | le 30 mars 1881. |

*Cheval n° 3.*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Au repos | en novemb. 1880. | $60^{gr},63$ | maximum. | $75^{gr},90$ | le 16 nov. 1880. |
| | | | minimum. | $45^{gr},67$ | le 26 nov. 1880. |
| | en décemb. 1880. | $61^{gr},29$ | maximum. | $67^{gr},96$ | le 6 déc. 1880. |
| | | | minimum. | $44^{gr},14$ | le 7 déc. 1880. |
| | en mai 1881 . . . | $59^{gr},931$ | maximum. | $79^{gr},297$ | le 1er juin 1881. |
| | | | minimum. | $48^{gr},763$ | le 29 mai 1881. |
| A la marche au pas, en janvier 1881. . . . . . . . . . | | $68^{gr},53$ | maximum. | $82^{gr},18$ | le 30 janvier 1884. |
| | | | minimum. | $50^{gr},16$ | le 14 janvier 1881. |
| A la marche au trot, en mars 1881. . . . . . . . . . | | $66^{gr},198$ | maximum. | $76^{gr},153$ | le 14 mars 1881. |
| | | | minimum. | $52^{gr},574$ | le 20 mars 1881. |
| Au travail au pas, en février 1881. . . . . . . . . . | | $91^{gr},898$ | maximum. | $107^{gr},95$ | le 12 février 1881. |
| | | | minimum. | $77^{gr},96$ | le 28 février 1881. |
| Au travail au trot, en avril 1881. . . . . . . . . . | | $85^{gr},526$ | maximum. | $95^{gr},816$ | le 3 mai 1881. |
| | | | minimum. | $75^{gr},586$ | le 21 avril 1881. |

Les résultats donnés par le cheval n° 2 sont inférieurs à ceux fournis par les chevaux n° 1 et n° 3. Ils concordent, comme l'on devait s'y attendre, avec les coefficients de digestibilité de la matière azotée qui, pour ce cheval, sont inférieurs à ceux des chevaux n° 1 et n° 3. Si l'on rapproche ces chiffres moyens des variations du poids des chevaux pendant les mois correspondants, l'on trouve que :

Pendant le repos, lorsqu'il y a eu augmentation de poids du cheval, le poids de l'azote de l'urine a diminué, et inversement. Ainsi, le cheval n° 1, qui est passé de 428k,5 le 3 novembre à 438 kilogr. le 29 novembre 1880, n'a donné, en moyenne journalière, que 58gr,24 d'azote dans l'urine, tandis qu'en 1881, en passant de 437k,5 le 1er janvier 1881, à 434k,5 le 31 janvier, le poids de l'azote rendu a été de 65gr,088 et qu'en mars 1881, en passant de 435 kilogr. le 13 à 437k,6 le 5 avril, le poids de l'azote rendu a été de 64gr,676. Il est donc manifeste qu'à la formation de chair et, par suite, à l'augmentation de poids du cheval, sont liées les variations de poids de l'azote total contenu dans l'urine. Cela se montre particulièrement pour le cheval n° 1, dans l'expérience du mois de janvier, que nous pouvons scinder en deux parties bien distinctes : la première va du 6 au 21 janvier, elle est antérieure à la frayeur éprouvée par le cheval, le 22 janvier. Dans cette période, le poids moyen de l'azote contenu dans l'urine était de 66gr,73 par jour et il y avait formation de chair. La deuxième partie va du 22 au 31 janvier; elle est postérieure à la crainte du cheval ; l'azote rendu dans l'urine n'est plus, en moyenne, que de 62gr,45 par jour, soit, avec la première période, une différence de 4gr,28 d'azote par jour qui, sans doute, a servi à reconstituer les tissus usés le 22 janvier et permet d'expliquer partiellement l'accroissement rapide du poids du cheval du 22 au 31 janvier. Nous disons partiellement, car l'augmentation de poids du 22 au 31 janvier est surtout due à une fixation d'eau par l'organisme. En effet, en supposant que les 66gr,73 d'azote émis par jour dans les urines correspondent exactement à l'entretien du cheval, les 4gr,28 d'azote seraient considérés comme fixés par jour dans les tissus sous forme de chair. A défaut d'expériences sur le cheval, supposons qu'il y a identité chez le cheval et chez le bœuf dans l'accroissement total du poids de l'animal, dans le cas de formation de

chair. Or, Henneberg a trouvé que, chez le bœuf, pour 35 grammes d'azote assimilé, il y avait une augmentation de poids vif de 1,035 grammes. En appliquant cette proportionnalité à notre cheval, nous aurions donc, du 22 au 31 janvier, un accroissement de poids vif de :

$$4,28 \times 10 \times 1,035 = 1,265 \text{ grammes.}$$

Ainsi, les tissus du cheval n° 1 n'auraient augmenté, du fait des matières azotées, que de 1,265 grammes et cependant son poids vif s'est accru de $11^{k}$,005 grammes. Nous avions donc bien raison d'insister sur ce point, que c'est à la perte d'eau qu'était surtout due la diminution du poids. On voit aussi, par les mêmes considérations, que la chute du 8 au 20 avril 1881, lorsque le cheval est à la marche au trot, est due surtout à une perte d'eau et non de muscles. En effet, l'azote contenu dans l'urine du 12 au 20 est, en moyenne, de $72^{gr}$,757 par jour et du 21 avril au 7 mai de $72^{gr}$,733. Mais pendant la marche comme pendant le repos, le plus grand accroissement de poids correspond à la plus faible quantité d'azote dans l'urine.

Pendant le travail, les mêmes faits se reproduisent. Mais il faut remarquer aussi que le coefficient de digestibilité de la matière azotée, qui était de 73.70 p. 100 dans le travail au pas, tombe à 65.61 dans le travail au trot : la diminution de l'azote dans l'urine, par rapport au travail au pas, n'implique donc pas une formation de chair correspondant à cette diminution. Enfin, il y aurait bien lieu d'envisager si la différence dans le travail kilogrammétrique produit n'a pas une influence quelconque : nous examinerons ce point dans notre discussion sur la production du travail.

En ce qui concerne le cheval n° 2, les mêmes phénomènes ne s'observent bien que pour le travail. Pendant le repos et la marche, il y a quelques irrégularités que semblent expliquer les observations suivantes : le cheval n° 2 a constamment donné des fèces très chargées d'eau. Au début, pendant le mois de novembre, il est arrivé quelquefois qu'un peu d'urine s'y est trouvé mêlée accidentellement, et c'est ce qui rend compte de la proportion relativement faible d'azote dosé dans l'urine. Mais à partir de décembre on s'est arrangé de façon à rendre tout mélange impossible, et du 1<sup>er</sup> décembre au 7 juin, les fèces n'ont plus été chargées d'urine ; malgré cela, les

fèces du cheval n° 2 se sont toujours montrées riches en eau et chargées d'urée. La dépuration urinaire s'effectuait-elle imparfaitement chez ce cheval ? Toujours est-il que nous devons attribuer à cette cause la faiblesse des poids d'azote que nous avons dosés directement.

Quant à leur irrégularité, elle peut provenir tant de cette même cause que des variations du coefficient de digestibilité avec le travail mécanique.

L'examen des chiffres fournis par le cheval n° 3 conduit à des conséquences analogues. Si nous exceptons novembre 1880, dans lequel nous avons vainement essayé l'urinal sur ce cheval, nous voyons, pour le repos, que le poids minimum d'azote dans l'urine correspond au mois de mai, tandis que le poids maximum d'azote correspond au mois de décembre 1880. Précisément en mai, le cheval est passé de 428 kilogrammes à 440$^{k}$,1 et en décembre de 436 kilogrammes à 433 kilogrammes, bien que le coefficient de digestibilité de la matière azotée ait fléchi de 76.39 en décembre à 73.08 en mai.

Lorsque, pendant la marche au pas, le cheval émet, par jour, dans ses urines 68$^{gr}$,53 en janvier 1881 en passant de 430 à 436 kilogr. d'azote, pendant la marche au trot en mars 1881, il ne rend plus que 66$^{gr}$,198 d'azote et passe de 441 kilogr. à 432$^{k}$,8. Mais le coefficient de digestibilité de la matière azotée, qui était de 75.84 en janvier tombe à 70.22 en mars. De plus, il faut se rappeler que ce cheval, ayant les jambes courtes, était obligé à un effort soutenu pour faire, dans le même temps, le chemin parcouru par le cheval attelé au manège.

Pendant le travail, on constate les mêmes faits que pendant la marche : mais il faut noter aussi que le coefficient de digestibilité, qui était de 74.58 p. 100 pour le travail au pas en février, tombe à 67.62 p. 100 pendant le travail au trot en avril 1881.

Il résulte de ce qui précède que la détermination des variations de l'azote dans l'urine ne peut conduire à la connaissance rigoureuse de l'état d'entretien du cheval qu'autant que le coefficient de digestibilité de la matière azotée reste constant.

### AZOTE DES FÈCES.

L'azote a été dosé, par la chaux sodée, sur un mélange moyen des fèces établi par mois d'expérience et proportionnellement au poids de la matière sèche des fèces excrétées chaque jour. Nous rappelons que la matière sèche était obtenue par une dessiccation à 110° dans une étuve. Nous n'examinerons ici que les fèces qui ont été recueillies du 1er novembre 1880 au 7 juin 1881. Les résultats que nous avons obtenus sont les suivants :

*Cheval n° 1.*

| | | Moyenne journalière. |
|---|---|---|
| Au repos | en novembre 1880 | 23gr,592 |
| | en janvier 1881 | 19 ,832 |
| | en mars 1881 | 23 ,05 |
| A la marche au pas, en février 1881 | | 55 ,088 |
| A la marche au trot, en avril 1881 | | 29 ,81 |
| A travail au pas, en décembre 1880 | | 36 ,199 |
| Au travail au trot, en mai 1881 | | 48 ,17 |

*Cheval n° 2.*

| | | |
|---|---|---|
| Au repos | en novembre 1880 | 30 ,029 |
| | en février 1881 | 28 ,695 |
| | en avril 1881 | 27 ,73 |
| A la marche au pas, en décembre 1880 | | 30 ,398 |
| A la marche au trot, en mai 1881 | | 36 ,18 |
| Au travail au pas, en janvier 1881 | | 44 ,370 |
| Au travail au trot, en mars 1881 | | 47 ,17 |

*Cheval n° 3.*

| | | |
|---|---|---|
| Au repos | en novembre 1880 | 23 ,213 |
| | en décembre 1880 | 21 ,898 |
| | en mai 1881 | 25 ,39 |

| | Moyenne journalière. |
|---|---|
| A la marche au pas, en janvier 1881 | 24gr,303 |
| A la marche au trot, en mars 1881 | 30 ,43 |
| Au travail au pas, en février 1881 | 35 ,869 |
| Au travail au trot, en avril 1881 | 41 ,12 |

De ces chiffres se dégage nettement l'influence, sur l'assimilation, du mode de mouvement dans le transport du cheval ou dans le tra-

vail. En effet, pendant la marche au trot ou le travail au trot, le poids d'azote rendu dans les fèces a été constamment supérieur à celui émis pendant la marche au pas ou le travail au pas. Nous retrouverons le même phénomène pour d'autres principes immédiats des fourrages, lorsque plus loin nous ferons la discussion des coefficients de digestibilité.

Au point où nous en sommes arrivés, nous possédons tous les éléments qui vont nous permettre de faire la balance de l'azote mis en jeu dans nos expériences.

Il est clair que dans le cas d'entretien parfait de l'animal, le poids de l'azote ingéré sous forme de matières azotées doit se retrouver en totalité dans les poids d'azote dosé directement dans l'urine et dans les fèces, défalcation faite de l'azote employé à pourvoir à l'usure des poils ou des sabots. S'il y a une différence, elle ne peut être due, suivant Boussingault, Regnault et Reiset, qu'à une exhalation d'azote gazeux pendant la respiration. On sait d'autre part que des expériences postérieures à celles des savants français, notamment les travaux de Pettenkoffer, Voit, Stohmann, etc., ont conduit les expérimentateurs à nier ce déficit d'azote. Nous nous trouvons donc en présence de deux théories basées toutes deux sur des expériences. Voyons d'abord les résultats auxquels nous conduisent nos propres essais ; nous examinerons ensuite, après l'avoir discutée, la valeur de chacune des théories ayant cours aujourd'hui.

Le tableau suivant résume, par cheval et par jour, nos propres résultats :

| ÉTATS DES CHEVAUX en expérience. | AZOTE ingéré. | AZOTE dans l'urine. | AZOTE dans les fèces. | AZOTE rendu. | DIFFÉRENCE. |
|---|---|---|---|---|---|
| | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. | Gr. |
| *Cheval n° 1.* | | | | | |
| Au repos en novembre 1880 | 93.967 | 59.240 | 23.592 | 82.832 | — 11.135 |
| Au repos en janvier 1881 | 91.942 | 65.088 | 19.832 | 84.920 | — 7.022 |
| Au repos en mars 1881 | 92.83 | 64.676 | 23.05 | 87.726 | — 5.104 |
| A la marche au pas, en février 1881 | 103.528 | 75.044 | 25.088 | 100.132 | — 3.396 |
| A la marche au trot, en avril 1881 | 102.21 | 72.741 | 29.81 | 102.551 | + 0.341 |
| Au travail au pas, en décembre 1880 | 137.729 | 92.289 | 36.199 | 128.488 | — 9.241 |
| Au travail au trot, en mai 1881 | 140.09 | 82.43 | 48.17 | 130.60 | — 9.49 |
| *Cheval n° 2.* | | | | | |
| Au repos en novembre 1880 | 93.967 | 44.50 | 30.029 | 74.529 | — 19.438 |
| Au repos en février 1881 | 94.029 | 53.48 | 28.695 | 82.175 | — 11.854 |
| Au repos en avril 1881 | 92.83 | 56.042 | 27.73 | 83.772 | — 9.058 |
| A la marche au pas, en décembre 1880 | 101.825 | 63.74 | 30.398 | 94.138 | — 7.687 |
| A la marche au trot, en mai 1881 | 103.89 | 60.258 | 36.18 | 96.438 | — 7.452 |
| Au travail au pas, en janvier 1881 | 136.621 | 68.92 | 44.370 | 113.290 | — 23.331 |
| Au travail au trot, en mars 1881 | 130.56 | 74.317 | 47.17 | 121.487 | — 9.073 |
| *Cheval n° 3.* | | | | | |
| Au repos en novembre 1880 | 93.967 | 60.63 | 21.213 | 81.843 | — 12.124 |
| Au repos en décembre 1880 | 92.777 | 61.29 | 21.898 | 83.188 | — 9.589 |
| Au repos en mai 1881 | 94.34 | 59.631 | 25.39 | 85.021 | — 9.319 |
| A la marche au pas, en janvier 1881 | 100.633 | 68.53 | 24.303 | 92.833 | — 7.800 |
| A la marche au trot, en mars 1881 | 102.21 | 66.198 | 30.43 | 96.628 | — 5.582 |
| Au travail au pas, en février 1881 | 141.207 | 91.898 | 35.869 | 127.767 | — 13.440 |
| Au travail au trot, en avril 1881 | 138.59 | 85.526 | 41.12 | 126.646 | — 11.944 |

Le mois d'avril 1881 a fourni pour le cheval n° 1 une balance à peu près exacte entre l'azote ingéré et l'azote rendu. Mais on observe que, dans ce mois, le cheval n° 1 soumis à la marche au trot a subi une perte de poids continue très considérable du 6 au 20 avril, qui a dû augmenter anormalement le poids d'azote dans l'urine. Nous pensons donc que ce résultat n'est qu'accidentel et que le déficit que nous aurions dû constater a été masqué par le dépérissement de l'animal.

Ainsi, d'après nos recherches, nous serions conduits à admettre un déficit journalier d'azote, variant de 3gr,396 à 23gr,331. Mais telle n'est point notre conclusion, par suite des considérations que nous allons développer. Les causes qui peuvent amener un déficit d'azote sont assez nombreuses, nous allons les examiner individuellement en essayant de les déterminer. Ce sont :

1° L'augmentation de poids du cheval ;

2° La production des poils, de la corne des sabots, la desquamation de la peau ;

3° La production de la sueur ;

4° La perte en azote des fèces pendant la dessiccation.

### 1re *Cause de déficit. — Variations dans le poids du cheval.*

Dans la plupart de nos essais, il y a eu augmentation de poids du cheval ; la formation de chair a amené nécessairement une diminution correspondante d'azote dans l'urine : première cause de déficit. La perte de poids du cheval produit un effet inverse et atténue le déficit. Ces faits s'observent sur nos trois chevaux, particulièrement chez le cheval n° 1 en novembre 1880 et en avril 1881.

### 2e *Cause de déficit. — Productions cutanées. — Poils, sabots, etc.*

Une deuxième cause de déficit, que les expérimentateurs ont généralement négligée jusqu'ici, sans doute à cause du peu de durée de leurs expériences, réside dans la production des poils, de la corne des sabots et la desquamation de la peau. Le pansage journalier du cheval entraîne une perte non négligeable de poils et de croûtes épidermiques. Nous avons tenté d'évaluer cette perte, en ce qui concerne les poils et la corne. La chute des poils de nos chevaux avait lieu en mars-avril et en octobre. Nous avons recueilli, pesé et analysé les poils perdus par chacun d'eux en mars-avril 1882. Le cheval n° 1 a donné 2,220 grammes contenant 190gr,03 d'azote ; le cheval n° 2 a donné 2,190 grammes, contenant 170gr,16 d'azote ; le cheval n° 3 a donné 2,320 grammes, contenant 166gr,81 d'azote.

Les chevaux donnent en moyenne de 2k,5 à 3 kilogr. de corne par

an, contenant 17 p. 100 d'azote. En adoptant seulement 2$^{k}$,5, l'azote contenu dans la production moyenne annuelle serait de 425 grammes.

Quant aux croûtes épidermiques, nous n'avons aucune donnée : malgré cela, nous trouvons que les chevaux auraient employé, *au minimum*, par an, pour la production des poils et de la corne :

Le cheval n° 1, 805$^{gr}$,06 d'azote, soit par jour 2$^{gr}$,2 d'azote ; le cheval n° 2, 765$^{gr}$,32 d'azote, soit par jour 2$^{gr}$,1 d'azote ; le cheval n° 3, 758$^{gr}$,62 d'azote, soit par jour 2$^{gr}$,1 d'azote.

C. Voit, dans ses expériences sur la nutrition, a trouvé qu'un chien du poids de 35 kilogr. perd, par jour, sous forme de poils et débris d'épiderme, 0$^{gr}$,180 d'azote. Si l'on suppose que la perte de poils soit proportionnelle au poids de l'animal, le calcul, basé sur les expériences de Voit, donnerait, pour le cheval de 450 kilogr., une perte d'azote de 2$^{gr}$,31 par jour, sous forme de poils, chiffre très voisin de celui auquel nous ont conduits nos déterminations.

### 3$^{e}$ *Cause de déficit. — Sueur, transpiration.*

La sueur et la transpiration cutanée sont aussi une cause de déperdition d'azote. On sait, en effet, que la sueur contient de l'urée. Funke en a dosé jusqu'à 1.55 p. 1,000 dans ce liquide. Malheureusement, nous ne pouvons donner de chiffre, même approximatif, relativemement à cette perte que nous n'avons pu constater que par voie d'analyse qualitative : l'expérience nous a montré que la sueur du cheval contient des matières azotées.

### 4$^{e}$ *Cause de déficit. — Dessiccation des excréments.*

La perte, la plus importante peut-être, est celle qui provient de la dessiccation des fèces. Au début de nos recherches, nous ne nous en doutions pas, et lorsque nous nous en sommes aperçus, nos essais étaient trop avancés pour songer à modifier notre mode d'opérer. Comme jusqu'ici cette cause d'erreur n'a été mentionnée par aucun expérimentateur, nous croyons devoir la bien mettre en évidence, en rapportant quelques-uns des contrôles auxquels nous nous sommes livrés.

Les liquides organiques renferment tous de l'urée et il eût été au

moins singulier que les fèces si riches en eau n'en continssent pas. Or, cette urée, pendant la dessiccation, se transforme en carbonate d'ammoniaque, corps volatil. On conçoit donc que, durant la dessiccation, une perte en azote puisse se produire, perte qui sera d'autant plus grande que les fèces contiendront plus d'urée. Nous n'avons pas à expliquer ici le mode de transformation de l'urée ; nous ne nous occupons que des résultats obtenus dans nos expériences. A côté de l'urée, peuvent aussi se trouver des sels ammoniacaux, en proportion variable, et qui se décomposent partiellement pendant la dessiccation.

Nous avons cherché à évaluer cette perte par deux méthodes différentes destinées à se contrôler. Les résultats que nous avons constatés ne laissent aucun doute sur l'étendue de cette déperdition d'azote, dont il faudra désormais tenir compte dans les expériences sur la statique de l'azote dans la nutrition des animaux.

*Méthode indirecte.* — Dans la première méthode que nous avons employée, la perte d'azote était établie, par différence, de la façon suivante :

On met sur une assiette 100 grammes de fèces bien mélangées qu'on dessèche à l'étuve à 110° comme à l'ordinaire. Après dessiccation, on pèse et on note la perte de poids. On place la matière desséchée dans des vases ; on y ajoute un poids d'eau distillée égal à la perte de poids constatée, puis 200 grammes d'eau bien exempte d'ammoniaque.

Après avoir laissé macérer pendant une heure environ, on jette le tout sur un filtre, après expression à travers un linge. On dose dans le liquide filtré :

1° L'azote total par la méthode de la chaux sodée ;

2° L'azote ammoniacal libre ou combiné, par la méthode de Schlœsing ;

3° L'urée, en la transformant préalablement en ammoniaque par l'acide sulfurique et en dosant celle-ci par la méthode de Schlœsing.

On fait les mêmes opérations sur un second échantillon de 100 grammes des mêmes fèces non desséchées. Les résultats obtenus dans ces deux cas permettent alors de fixer la perte d'azote due à la dessiccation.

Voici les chiffres, rapportés à 100 grammes de fèces fraîches, que nous avons obtenus, par cette méthode indirecte, pour les fèces recueillies le 30 janvier 1881 :

| | | Avant dessiccation. | Après dessiccation. | Perte. |
|---|---|---|---|---|
| Azote dosé par la chaux sodée : | Cheval n° 1. . . | 96mgr,68 | 70mgr,17 | 26mgr,51 |
| | Cheval n° 2. . . | 99 ,27 | 72 ,05 | 27 ,22 |
| | Cheval n° 3. . . | 97 ,39 | 70 ,68 | 26 ,71 |
| Azote ammoniacal préexistant dans les fèces sous forme de sel : | Cheval n° 1. . . | 35 ,08 | 8 ,57 | 26 ,51 |
| | Cheval n° 2. . . | 54 ,17 | 8 ,80 | 45 ,37 |
| | Cheval n° 3. . . | 26 ,44 | 13 ,22 | 13 ,22 |
| Azote des sels ammoniacaux et de l'urée : | Cheval n° 1. . . | 78 ,74 | 26 ,24 | 52 ,50 |
| | Cheval n° 2. . . | 90 ,20 | 31 ,62 | 58 ,58 |
| | Cheval n° 3. . . | 70 ,68 | 35 ,34 | 35 ,34 |

Ces chiffres font voir que l'azote se trouve dans les fèces sous forme d'ammoniaque, ou tout au moins, à un état facilement décomposable en ammoniaque, sous l'influence de la magnésie à l'ébullition et que la perte en azote peut atteindre un chiffre non négligeable.

Mais à cette méthode l'on pouvait objecter que la différence d'azote que nous considérons comme perte n'en est pas une, si l'on admet que la dessiccation a rendu insolubles des éléments que nous avions primitivement dosés dans les fèces fraîches. Bien que cet argument ne puisse atteindre les chiffres obtenus pour l'azote ammoniacal, nous avons contrôlé nos résultats en instituant une méthode directe pour le dosage de l'azote dégagé pendant la dessiccation.

*Méthode directe.* — Les fèces sont desséchées dans le vide. On recueille l'ammoniaque dégagée par de l'acide borique pur, ainsi que nous l'avons indiqué dans notre premier mémoire à propos du dosage de l'ammoniaque dans l'urine, et l'on dose l'ammoniaque fixée par l'acide borique, par la méthode de Schlœsing. Nous ne dosons donc ici que l'azote provenant, soit des sels ammoniacaux dégagés, soit de la transformation de l'urée. Si la dessiccation conduisait à un dégagement d'azote gazeux, cette méthode ne saurait l'évaluer. Nous avons cherché si la température avait une influence sur la déperdition de l'azote et nous avons trouvé que la perte restait sensiblement constante, que la matière soit desséchée à 110°, 120° ou 140°.

Nous donnons ci-dessous quelques-uns des chiffres obtenus par cette méthode. Ils sont rapportés à 1 kilogr. de fèces fraîches :

*Fèces recueillies le 4 février* 1881.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Cheval n° 1. Perte exprimée en azote par dessiccation. | 180mgr | ,5 | |
| Cheval n° 2. — — . | 213 | ,5 | |
| Cheval n° 3. — — . | 135 | ,5 | |

*Fèces du 6 juillet* 1881.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Cheval n° 1. Perte exprimée en azote par dessiccation. | 293 | ,3 | |
| Cheval n° 2. — — . | 1,082 | ,9 | (Les fèces étaient chargées d'un peu d'urine.) |
| Cheval n° 3. — — . | 229 | ,1 | |

*Fèces du 8 juillet* 1881.

| | | |
|---|---|---|
| Cheval n° 1. Perte exprimée en azote par dessiccation. | 132 | ,5 |
| Cheval n° 2. — — . | 241 | ,0 |
| Cheval n° 3. — — . | 156 | ,8 |

*Fèces du 10 juillet* 1881.

| | | |
|---|---|---|
| Cheval n° 1. Perte exprimée en azote par dessiccation. | 298 | ,9 |
| Cheval n° 2. — — . | 390 | ,5 |

Nous pourrions multiplier ces chiffres qui, croyons-nous, ne laissent rien à désirer sous le rapport de l'exactitude. Les nombres qui précèdent montrent suffisamment la grandeur de la perte d'azote pendant la dessiccation. On remarquera que les fèces du cheval n° 2 ont constamment donné la plus forte perte d'azote. Ce fait corrobore les observations que nous avons précédemment présentées à propos de la teneur de son urine en azote. Un fait se dégage aussi de ces résultats, c'est que les fèces chargées d'urine donnent le maximum de perte (cheval n° 2, fèces du 6 juillet) ; nous sommes ainsi amenés à attribuer cette accroissement de perte à la décomposition de l'urée pendant la dessiccation.

La quantité d'azote perdu ainsi est très variable, non seulement avec le cheval, mais aussi avec les jours. Elle semble augmenter avec l'humidité des fèces. Les écarts pour un même cheval peuvent être considérables. Nous ne possédons pas encore les données suffisantes pour rechercher s'il n'y aurait pas une relation entre la gran-

deur de cette perte et la quantité d'azote rendu dans les urines. En appliquant les chiffres trouvés ci-dessus le 4 février aux quantités d'excréments rendus par chacun de nos chevaux, on trouverait que la dessiccation a amené par jour, en moyenne, pour le mois de février 1881, un déficit en azote de :

Pour le cheval n° 1 : 0gr,987 ; pour le cheval n° 2 : 1gr,433 ; pour le cheval n° 3 : 1gr,174.

Et pour le mois de juillet 1881, on aurait : pour le cheval n° 1 : $9{,}393 \times 293 = 2^{gr},739$ ; pour le cheval n° 2 : $10{,}974 \times 1{,}092{,}9 = 11^{gr},993$ ; pour le cheval n° 3 : $9{,}850 \times 229{,}1 = 2^{gr},257$.

Ces chiffres prouvent qu'il est nécessaire dorénavant de tenir compte de cette perte ou, mieux, d'éliminer cette cause d'erreur dans les recherches sur l'alimentation. Il est très probable que les déficits constatés par divers expérimentateurs sont dus, pour une bonne part, à des erreurs de ce genre. Nous pensons que le déficit de 24 grammes d'azote par 24 heures, constaté par J. Boussingault dans son expérience « sur un cheval soumis à la ration d'entretien dans le but de rechercher si les herbivores prélèvent de l'azote sur l'atmosphère », a cette origine. En effet, J. Boussingault (*Agr.*, t. V, p. 156), dans la relation de cette expérience, si souvent rappelée par les partisans du déficit d'azote, a eu soin de noter que les excréments étaient desséchés dans le vide à 110° et que « une partie de l'urine restait mêlée aux excréments ». Les excréments se trouvaient donc dans les conditions les plus favorables pour donner, par la dessiccation, une perte maximum d'azote. On a vu, plus haut, que le kilogramme des fèces fraîches de notre cheval n° 2, chargées d'un peu d'urine, avait déjà donné une perte de 1,092mgr,9 d'azote. S'il était possible d'appliquer ce nombre aux données de J. Boussingault, on trouverait que la perte d'azote, par dessiccation des excréments frais de son cheval, aurait dû être au moins de $1{,}092^{mgr},9 \times 14{,}25 = 15^{gr},574$.

En sorte que le déficit serait ramené de 24 grammes à 8gr,426, poids duquel il faudrait ensuite retrancher l'azote correspondant à la formation des poils, de la corne, de la sueur et peut-être de la chair, car les données relatives au poids du cheval font complètement défaut dans la relation de cette expérience.

Si les observations et les expériences que nous venons de relater expliquent suffisamment le déficit d'azote dans les expériences sur l'alimentation, nous n'avons pas la prétention d'en conclure immédiatement à l'équilibre absolu entre l'azote ingéré à l'azote rendu.

De l'examen critique de nos expériences, résulte la preuve de l'extrême difficulté de retrouver dans les excréments solides et liquides la totalité de l'azote ingéré par un cheval qui se maintient exactement dans le même état d'entretien. Si l'on évite les causes d'erreur que nous avons indiquées, le déficit en azote, variable mais toujours faible, ne sera dû vraisemblablement qu'à la production, impossible à évaluer rigoureusement, de poils, de corne et de sueur. On ne saurait espérer arriver à une balance absolue entre l'azote des aliments et celui des excréments, qu'autant que cette production n'aurait pas lieu. Est-ce à dire que nous niions la possibilité de l'exhalation de l'azote sous forme gazeuse? Cette exhalation ne nous paraîtrait pas plus difficile à admettre que la présence d'hydrogène libre et d'hydrogène carboné dans les gaz intestinaux, mais nous pensons que jusqu'ici l'émission d'azote gazeux n'a pas été démontrée.

Si l'exhalation d'azote gazeux dans l'acte de la nutrition était un phénomène physiologique de l'ordre de l'oxydation du carbone et de l'hydrogène, le déficit en azote devrait affecter une constance et une importance numérique qu'il ne présente à aucun degré.

Nous ne pensons donc pas qu'il y ait perte d'azote sous cette forme dans l'acte de la nutrition. Il se pourrait qu'il y eût une légère émission d'azote, mais les arguments que nous venons de présenter ramènent le déficit d'azote à des proportions tellement faibles, qu'elles rentrent dans les limites d'erreur des expériences et, suivant nous, peuvent être négligées.

La discussion de nos propres expériences montre les difficultés de toutes sortes que présente l'étude de la statique de l'azote chez les animaux. Les beaux travaux de Pettenkofer, Voit, Stohmann, Henneberg, H. Grüber, les critiques qu'ils ont soulevées, les réponses à ces critiques, ne sauraient être ici de notre part l'objet d'un examen détaillé. Nous nous réservons d'y revenir dans un travail spécial et de comparer les résultats auxquels nous avons été conduits à ceux de nos devanciers.

Un point important nous semble démontré, à savoir qu'en ce qui concerne l'étude de l'utilisation de la ration azotée, l'examen comparé de la teneur en azote des aliments, des fèces et de l'urine, permet de tirer des conclusions d'une très grande valeur pratique, la déperdition d'azote à l'état gazeux, s'il en existe une, étant accidentelle et ne devant pas, par conséquent, influencer les résultats.

Nous terminerons l'examen des composés azotés de l'urine en disant quelques mots de la présence de l'ammoniaque dans ce produit excrémentiel. J. Boussingault a constaté que, dans l'urine fraîche non fermentée, l'ammoniaque préexiste sous forme de carbonate, mais en quantité très faible. Nos résultats confirment cette opinion ; mais, d'après nos analyses, l'ammoniaque s'y trouve aussi sous forme de phosphate ammoniaco-magnésien. On sait que J. Boussingault n'admet pas la présence de l'acide phosphorique dans l'urine de cheval. Nos recherches prouvent, au contraire, qu'il n'y fait jamais défaut.

Nous nous étions proposé de doser l'ammoniaque dans les liquides urinaires recueillis chaque jour. Mais nous nous sommes aperçus bientôt que, malgré le lavage journalier des stalles, l'urine contractait un commencement de fermentation conduisant à une élévation du taux d'ammoniaque aux dépens de l'urée. Nous avons suspendu les dosages journaliers pour ne déterminer l'ammoniaque que sur l'urine pure, recueillie au moment même de son émission dans un vase propre et ne pouvant développer la fermentation. Du reste, on procédait au dosage aussitôt l'émission effectuée. Voici quelques-uns des résultats que nous avons obtenus avec de l'urine pure en appliquant le procédé de dosage que nous avons décrit dans notre premier Mémoire :

*Cheval n° 1.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 50 centimètres cubes d'urine | contiennent | 1$^{mgr}$,24 | d'azote ammoniacal | le 14 déc. 1880. |
| — | — | 4 ,39 | — | le 17 déc. 1880. |
| — | — | 3 ,64 | — | le 18 déc. 1880. |
| — | — | 3 ,77 | — | le 21 déc. 1880. |
| — | — | 5 ,42 | — | le 23 déc. 1880. |
| — | — | 2 ,13 | — | le 27 déc. 1880 |

*Cheval n° 3.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 50 centimètres cubes d'urine | contiennent | 2$^{mgr}$,81 | d'azote ammoniacal | le 26 nov. 1880. |
| — | — | 0 ,33 | — | le 2 déc. 1880. |

Nous n'avons pas pu nous procurer d'urine du cheval n° 2. Le cheval n° 1, immédiatement après son travail au manège, et avant sa rentrée à la stalle, avait fréquemment besoin d'uriner, et comme il avait le masque sur les yeux, nous pouvions facilement recueillir son urine.

Quant au cheval n° 3, son urine a été obtenue à l'aide de l'urinal. Si l'on compare ces chiffres à la quantité totale d'azote dosée directement dans l'urine des mêmes jours, et cela ne peut se faire exactement qu'autant que l'urine qui a servi au dosage d'ammoniaque est la même que celle émise en 24 heures, on trouve que l'azote ammoniacal n'existe que dans la proportion :

*Pour le cheval n° 1.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Le 14 décembre 1880 de | 1 | p. 100 par rapport | à l'azote total. |
| Le 17 décembre 1880 de | 4 | — | — |
| Le 18 décembre 1880 de | 4 | — | — |
| Le 21 décembre 1880 de | 4 | — | — |
| Le 23 décembre 1880 de | 6 | — | — |
| Le 27 décembre 1880 de | 2 | — | — |

*Pour le cheval n° 2.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Le 26 novembre 1880 de | 6 | p. 100 par rapport | à l'azote total. |
| Le 2 décembre 1880 de | 0,5 | — | — |

Ces résultats, supérieurs à ceux obtenus par J. Boussingault, sont très éloignés du chiffre de 17 p. 100 que O. Kellner aurait obtenu dans ses expériences. Nous pensons que ce dernier chiffre est très au-dessus de la vérité et que, jusqu'à plus ample informé, il ne faut l'admettre que sous bénéfice d'inventaire, de même que cette autre assertion de Kellner à propos du sédiment urinaire du cheval : « Je n'ai pas vu apparaître de phosphate dans ce sédiment. » Nous croyons que la rapidité et la facilité avec lesquelles l'urée se transforme en ammoniaque ont fait commettre bien des erreurs, et qu'on ne saurait être trop prudent dans l'adoption de résultats obtenus par des méthodes imparfaites de récolte de l'urine et de dosage de l'ammoniaque.

### III. — Chlore. — Acide sulfurique. — Acide phosphorique.

La plupart des chimistes qui se sont occupés d'alimentation, guidés par des considérations théoriques et plus préoccupés sans doute de rattacher les faits naturels aux théories de la chimie que de les observer purement et simplement, ont nié l'existence de phosphates dans l'urine des herbivores, alors qu'on trouve ces phosphates dans l'urine des carnivores. Bien que l'urine des herbivores soit alcaline, il n'est pas, pour cela, impossible que des phosphates soient rejetés en suspension comme les carbonates terreux. Il nous a semblé qu'il y avait là une contradiction manifeste. Il est incontestable qu'une forte partie des phosphates produits par la désassimilation des aliments passe dans l'intestin et est éliminée au dehors avec les excréments. Nous en avons la preuve évidente dans ces pelotes plus ou moins développées que l'on trouve dans l'intestin des chevaux morts de coliques. Ces pelotes, ainsi que nous l'avons établi dans notre rapport sur les travaux du laboratoire de recherches en 1879, sont constituées par des poils de végétaux feutrés et réunis en masse compacte au moyen d'une sorte de ciment, qui n'est autre que du phosphate ammoniaco-magnésien, dont la proportion peut aller jusqu'à 72.4 p. 100 du poids de la pelote. Il était dès lors important pour nous de rechercher si l'élimination des phosphates ne s'effectue pas aussi par les urines. Toutes les urines que nous avons examinées contenaient des phosphates en proportion variable. Concurremment à l'acide phosphorique, nous avons dosé le chlore et l'acide sulfurique, du 1er novembre 1880 au 28 février 1881 ; nous résumons ci-dessous, par mois d'expérience, les résultats moyens de nos dosages journaliers :

*Cheval n° 1.*

| | Chlore. | Acide sulfurique. | Acide phosphorique. |
|---|---|---|---|
| Au repos en novembre 1880 | 7gr,065 | 9gr,356 | 2gr,658 |
| Au repos en janvier 1881 | 8 ,929 | 12 ,709 | 4 ,463 |
| A la marche au pas, en février 1881 | 7 ,901 | 13 ,491 | 3 ,701 |
| Au travail au pas, en décembre 1880 | 12 ,408 | 15 ,366 | 3 ,141 |

*Cheval n° 2.*

| | Chlore. | Acide sulfurique. | Acide phosphorique. |
|---|---|---|---|
| Au repos, en novembre 1880 | 5gr,973 | 7gr,051 | 1gr,095 |
| Au repos, en février 1881 | 7 ,182 | 11 ,735 | 3 ,981 |
| A la marche au pas, en décembre 1880 | 10 ,300 | 11 ,623 | 2 ,934 |
| Au travail au pas, en janvier 1881 | 10 ,772 | 14 ,434 | 2 ,860 |

*Cheval n° 3.*

| | Chlore. | Acide sulfurique. | Acide phosphorique. |
|---|---|---|---|
| Au repos, en novembre 1880 | 7gr,998 | 8gr,855 | 1gr,394 |
| Au repos, en décembre 1880 | 9 ,458 | 7 ,800 | 3 ,428 |
| A la marche au pas, en janvier 1881 | 10 ,449 | 11 ,653 | 2 ,587 |
| Au travail au pas, en février 1881 | 10 ,547 | 19 ,756 | 3 ,424 |

L'élimination des phosphates par l'urine est donc certaine. Il n'est, du reste, pas plus difficile de l'admettre que celle des carbonates terreux insolubles de chaux et de magnésie.

Tandis que la proportion d'acide phosphorique semble ne pas dépendre de l'état de repos ou du mouvement du cheval, le chlore et l'acide sulfurique paraissent augmenter avec le travail, et cet accroissement paraît lié à une augmentation correspondante des rations consommées. On sait que la ration de travail est égale aux $^3/_2$ de la ration d'entretien. Si l'on cherche le rapport existant entre les moyennes de chlore et d'acide sulfurique pendant le repos et le travail, pour les chevaux n° 1 et n° 2, on trouve précisément qu'il est sensiblement égal à $^3/_2$. Toutefois, les nombres fournis par le cheval n° 3 font exception.

## IV. — Travail produit par les chevaux.

Nous avons maintenant à nous occuper du travail produit par les chevaux pour le transport de leur propre corps et pour la traction au manège ou à la voiture. Comparons d'abord les résultats obtenus pendant les mois de traction au manège au pas et au trot. Les trois chevaux soumis successivement à la marche ou au travail au pas et au trot ont donné les résultats moyens suivants :

### Chevaux à la marche.

*Cheval n° 1.*

| | Chemin parcouru. | Effet utile produit. | Travail par traction. | Perte de poids. |
|---|---|---|---|---|
| | | Kgrm. | Kgrm. | |
| Au pas, en février 1881. . . . | 18,254m,6 | 8007310 | » | 2,332gr,0 |
| Au trot, en avril 1881. . . . . | 20,126 ,38 | 8603570 | » | 4,115 ,0 |

*Cheval n° 2.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Au pas, en décembre 1880. . . | 18,996m,3 | 7865347 | » | 2,668 ,1 |
| Au trot, en mai 1881. . . . . | 17,745 ,2 | 7242290 | » | 3,449 ,0 |

*Cheval n° 3.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Au pas, en janvier 1881. . . . | 20,763m,6 | 9078663 | » | 1,656 ,0 |
| Au trot, en mars 1881. . . . . | 18,448 ,47 | 8039635 | » | 3,833 ,0 |

### Chevaux au travail.

*Cheval n° 1.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Au pas, en décembre 1880. . . | 19,345m,49 | 8731057 | 552504.2 | 5,473gr,8 |
| Au trot, en mai 1881. . . . . | 21,256 ,04 | 9377260 | 440893.0 | 8,335 ,3 |
| Au trot, en juin 1881. . . . . | 21,039 ,7 | 9413759 | 435286.7 | 8,744 ,5 |

*Cheval n° 2.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Au pas, en janvier 1881 . . . . | 20,185m,10 | 8615533 | 421779.9 | 4,130 ,7 |
| Au trot, en mars 1881. . . . . | 20,805 ,50 | 8758921 | 433591.0 | 5,426 ,0 |
| Au trot, en juin 1881. . . . . | 20,772 ,9 | 8780439 | 429332.1 | 7,452 ,0 |

*Cheval n° 3.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Au pas, en février 1881. . . . | 18,505m,66 | 8444262 | 395429.0 | 4,396 ,0 |
| Au trot, en avril 1881. . . . . | 20,126 ,38 | 8814064 | 416597.6 | 7,554 ,2 |
| Au trot, en juin 1881. . . . . | 18,898 ,1 | 8538235 | 390814.9 | 8,313 ,0 |

On est immédiatement frappé de ce fait que la ration qui avait conduit à un accroissement de poids chez les trois chevaux pendant le travail au pas, n'est plus que suffisante pendant le travail au trot pour un travail mécanique extérieur sensiblement égal. De même, dans le transport seul du cheval au pas, la ration est trop forte, tandis que pour le transport au trot elle semble être insuffisante. Ces différences sont dues à un supplément de travail qu'exige le trot sur le pas et auquel correspond l'accroissement en poids du cheval pendant le travail ou le transport au pas. Si l'hypothèse qui consiste

à admettre que dans la marche au pas le cheval, pour faire avancer son corps, développe un effort égal à $^1/_{20}$ de son propre poids, alors que, pour le cheval au trot, l'effort s'élève à $^1/_{10}$, est exacte, il faudrait attribuer au travail résultant de cette différence d'effort, la différence constatée dans l'entretien du cheval dans les essais au pas et au trot. Mais une cause, qui n'est pas négligeable, intervient aussi, et dans le même sens, pour accroître le travail au trot sur le travail au pas au manège.

Nous voulons parler de la force centrifuge, négligeable pendant le transport au pas au manège, mais contre laquelle le cheval est obligé de lutter pendant l'exercice au trot. Ainsi, par exemple, pour le cheval n° 2 qui, en mars, étant au travail au trot a parcouru, en moyenne, 10,359$^{m}$,5 en 1 heure le matin, son poids étant de 418$^{kg}$,25, on trouve que la force centrifuge qui le sollicitait était de 77 kilogrammes. De sorte que, pour vaincre cette force, il était obligé d'incliner son corps vers le centre de la piste. Il y a là évidemment un travail supplémentaire développé, que notre dispositif expérimental ne permet pas de mesurer, dont il faut tenir compte cependant et qui exige, pour sa production, une fraction de l'excédent de la ration de travail au pas qui avait produit l'augmentation de poids.

Le calcul montre que l'axe du corps du cheval devait être incliné de 10°26′ sur la verticale. On voit aisément que, dans cette position, le bipède latéral le plus rapproché du centre de la piste étant obligé de supporter presque tout le poids du corps de l'animal, doit se fatiguer très rapidement : aussi peut-il y avoir perte de poids vif. Si ce n'était l'incertitude des coefficients, exprimant l'effort que le cheval doit développer pour transporter son propre corps, soit au pas, soit au trot, la question, qui paraît quelque peu compliquée, se résoudrait facilement : mais nous préférons ne pas donner ici de calculs basés sur l'emploi des coefficients incertains que nous avons rappelés plus haut. Nous indiquerons tout à l'heure une méthode indirecte permettant de résoudre cette question et de vérifier les coefficients.

On s'explique donc pourquoi la ration, trop forte pendant la marche ou le travail au pas, est devenue seulement suffisante dans les mêmes exercices au trot. Ce que nous venons de dire relativement au travail supplémentaire exigé par la marche au trot, s'applique

également aux essais du camionnage et de la voiture. Toutefois, il n'y a pas lieu ici de se préoccuper de la force centrifuge. Le camionnage comportait le travail au pas et au trot, la voiture le travail au trot seulement.

La détermination du travail produit dans le transport horizontal du cheval n'est pas sans quelque difficulté. Poisson d'abord, les frères Weber ensuite, on donné des formules qui ne nous paraissent pas suffisamment exactes. L'hypothèse de Poisson est inadmissible et les frères Weber ne tiennent aucun compte des mouvements relatifs des divers éléments des membres dans la progression. Au jeu des os et des muscles correspond évidemment un travail, relativement faible, en raison de leur faible poids par rapport à la masse totale des corps à mouvoir.

Sans employer des formules plus ou moins compliquées, il est possible d'évaluer assez exactement le travail produit dans le transport horizontal du corps par la considération des puissances vives. Avant d'aborder cette discussion, nous croyons utile de donner ici l'extrait suivant de l'analyse des mouvements pendant la locomotion que nous empruntons au *Traité de physiologie comparée des animaux,* de G. Colin (2e édition, t. I, p. 401 et suiv.).

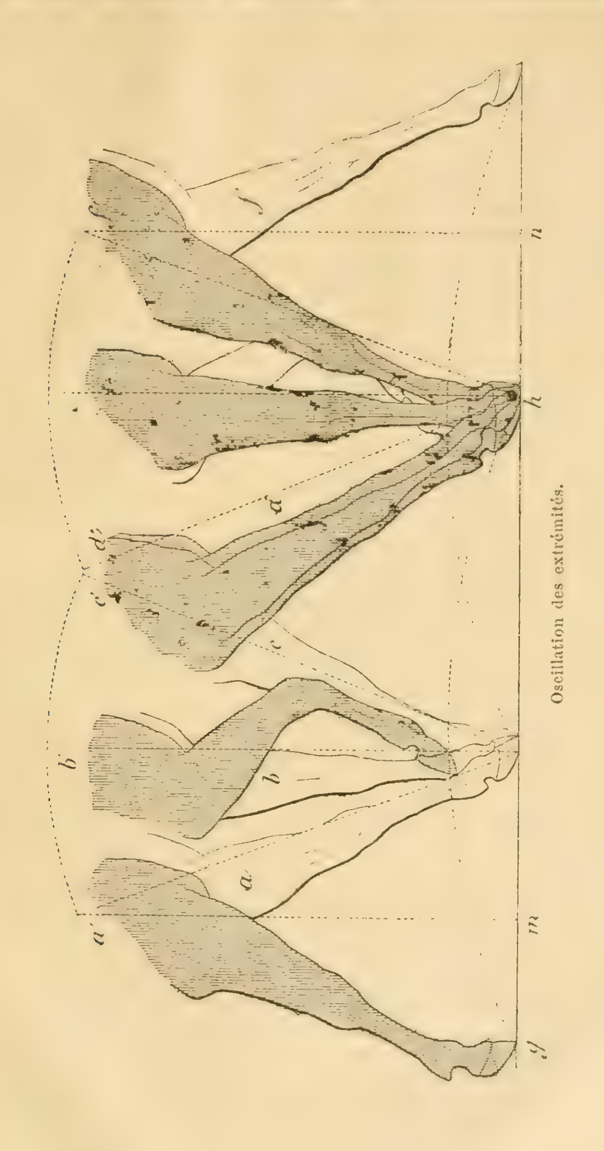
Les deux membres d'un bipède, soit antérieur, soit postérieur, en jouant ensemble, chacun suivant un mode spécial, représentent assez exactement deux pendules dont l'un, celui du membre levé, oscille par son extrémité inférieure, et dont l'autre, celui du membre appuyé, oscille par son extrémité supérieure. Leurs oscillations, qui commencent et qui finissent ensemble dans le pas, sont, par conséquent, isochrones et de même vitesse, mais elles n'ont point une égale amplitude : nous verrons tout à l'heure que celles de l'extrémité qui est en l'air ont une étendue double de celles de l'extrémité qui repose sur le sol.

Ce que les deux membres d'un bipède, antérieur ou postérieur, font ensemble, dans un même temps plus ou moins fractionné, chacun d'eux le fait en deux temps successifs.

Puisque, d'une part, l'action d'un membre, dans un pas complet, comprend deux grandes périodes, l'une de soutien, l'autre d'appui, et que, d'autre part, chacune de ces périodes se subdivise en trois situations différentes, il est évident que quand le pas sera achevé, l'extrémité aura passé successivement par les six situations $a', b', c', d', e', f'$. (V. figure.)

Ces six situations parfaitement distinctes représentent, si l'on veut, six

temps, dont trois : le lever, le soutien et le poser, ont été rapportés à la période pendant laquelle le membre est en l'air et considérés comme



Oscillation des extrémités.

correspondant au commencement, au milieu et à la fin de l'appui, formant les trois temps de la période pendant laquelle le membre supporte le corps. Mais de ces six temps, deux sont des intermédiaires : le

lever est autant la fin de l'appui que le commencement du soutien, et le poser autant la fin du soutien que le début de l'appui.

Partant des données qui précèdent, nous pouvons déterminer l'étendue de l'espace parcouru par le membre à l'une et à l'autre de ses extrémités.

Pendant qu'il est au lever, il éprouve, par son extrémité inférieure, une oscillation dont l'amplitude *gh* est double de l'oscillation *d'f'* qui se produit à son extrémité supérieure lorsqu'il est à l'appui. En effet, en même temps que le pied levé décrit l'arc *gh*, le membre opposé *a,b,c*, que la figure représente sur un second plan, décrit l'arc *a'c'* par son extrémité supérieure. Ce dernier arc étant le résultat de la progression en avant du centre de gravité, progression qui dérive de l'impulsion communiquée au corps par les membres abdominaux, il est clair qu'il sera également décrit par la partie supérieure du membre levé. D'où il suit que le point *a'*, considéré comme centre du mouvement du membre levé, se meut autant que le point correspondant du membre à l'appui. Il passe en *b'* lorsque le pied se trouve à sa situation moyenne, et arrive en *c'* quand celui-ci est parvenu à sa situation finale. Le pendule représenté par ce membre en l'air éprouve donc un double mouvement ; il oscille à la fois et par son extrémité supérieure et par son extrémité inférieure.

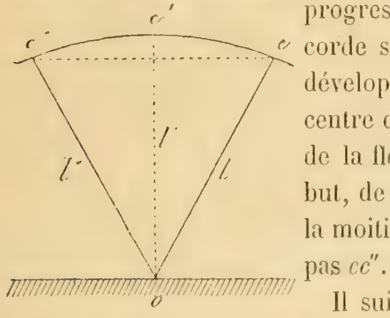
Dans l'allure au pas, par exemple, pendant que l'amplitude de l'oscillation de la partie inférieure du membre est de $1^m,50$, celle de l'extrémité supérieure n'est que de 75 centimètres. C'est du déplacement de sa partie supérieure que résulte pour le membre la possibilité de parcourir, de son lever à son appui, un trajet qui va jusqu'à 5 à 6 mètres, dans l'allure du galop, par exemple.

De plus, le membre, pendant son lever, ayant parcouru supérieurement le trajet *a'b'c'*, et devant parcourir pendant son appui, c'est-à-dire pendant la seconde des deux grandes périodes de son action, le trajet *d'e'f'*, lesquels mesurent ensemble l'espace parcouru par le centre de gravité, il faut nécessairement que, dans la durée de ces deux périodes, le pied parcoure un trajet égal à celui du centre de gravité, ou, en d'autres termes, que le membre, pendant la durée totale de son action, éprouve un déplacement rectiligne de même étendue à l'une et à l'autre de ses extrémités. Aussi la corde de l'arc *gh* décrit par le pied est-elle équivalente à la somme des cordes des deux arcs *d'f'* décrits par l'extrémité supérieure du membre.

Enfin, comme l'extrémité supérieure du membre emploie toute la durée de la période du lever et de celle de l'appui pour effectuer son trajet, tandis que l'extrémité inférieure ne met, pour effectuer le sien, que la durée d'une seule de ces périodes, il faut que dans l'une d'elles le pied parcoure le même espace que l'extrémité supérieure dans les deux réu-

nies. Et comme ces deux périodes sont de même durée dans le pas, la vitesse du pied doit être double de la vitesse de la partie supérieure du membre ou du centre de gravité. Voilà pourquoi les oscillations du pied levé sont deux fois aussi rapides que les oscillations de la partie supérieure du membre à l'appui, bien que les premières et les secondes commencent et finissent ensemble, ou, en d'autres termes, qu'elles soient parfaitement isochrones.

Soit un cheval au pas : examinons les mouvements du centre de gravité du bipède antérieur pendant la progression. On sait qu'il décrit à chaque pas un arc de cercle dont le rayon est égal à la distance du sol et dont la longueur de la corde est égale à la moitié du pas double. La flèche mesure son élévation verticale. Or, pour que la progression de toute une longueur de corde soit possible, il suffit que le cheval développe un effort capable d'élever le centre de gravité du bipède de la hauteur de la flèche ou, ce qui conduit au même but, de faire décrire au centre de gravité la moitié $cc'$ de l'arc correspondant à un pas $cc''$.




Il suit de là que, lorsque la longueur du pas double est de $1^{m},60$, par exemple, le centre de gravité a progressé de $\frac{1,60}{2} = 0^{m},80$. Le mouvement du centre de gravité à chaque pas se décompose donc en deux :

1° Un mouvement de montée qui exige un effort musculaire du cheval ;

2° Un mouvement de descente produit par la pesanteur, sans travail musculaire du cheval.

On peut admettre que le cheval ne développe que l'effort juste nécessaire pour produire le mouvement de montée du bipède antérieur, et qu'après la descente, dont l'arrêt est produit par la projection en avant de l'une des jambes s'arc-boutant sur le sol, le corps resterait au repos si l'animal ne faisait un nouvel effort succédant au premier. Le pas dans la marche peut donc être considéré comme produisant un mouvement dans lequel le bipède, d'abord au repos, s'élève jusqu'à un point maximum, grâce à un effort musculaire, et

revient ensuite au repos après une descente égale et inverse de la montée et produite par la pesanteur. Le travail développé par le cheval réside donc dans l'élévation seule et, dans ce cas, le travail serait égal au poids du bipède multiplié par la hauteur d'élévation. Mais cette hauteur ne peut se déterminer directement. Supposons que le poids du bipède antérieur soit concentré au centre de gravité. On sait que le travail produit par une force (effort du cheval) sur un corps est toujours égal au gain ou à la perte de puissance vive qu'éprouve ce corps pendant l'action de la force. Par conséquent, le travail pour un pas pourra s'exprimer par :

$$T = {}^1/_2\, m\, (v^2 - V_0^2),$$

mais le bipède partant au repos, sa vitesse est nulle à l'instant initial du mouvement ; par suite, la relation précédente se réduit à :

$$T = {}^1/_2\, mv^2$$

$m$, masse du bipède antérieur;
$v$, vitesse du centre de gravité.

Un raisonnement analogue pour le bipède postérieur conduirait à la formule similaire donnant le travail produit pendant la même progression par ce bipède :

$$T' = {}^1/_2\, m'v^2$$

$m'$, masse du bipède postérieur ;
$v$, vitesse du centre de gravité.

Les bipèdes antérieur et postérieur étant considérés comme invariablement liés l'un à l'autre, la vitesse du centre de gravité de chacun d'eux est forcément la même.

Le travail total développé par le cheval pour le transport de tout son corps pour un pas sera donc donné par :

$${}^1/_2\, mv^2 + {}^1/_2\, m'v^2 = {}^1/_2\, v^2\, (m + m').$$

Or, $m + m'$ n'est autre que la masse totale du cheval, qu'il est toujours facile de déterminer, ainsi que le nombre de pas effectués dans un parcours donné. On a donc tous les éléments nécessaires pour évaluer le travail. Cette formule très simple donne des résultats très approchés de ceux qu'on obtient en faisant usage de la for-

mule des frères Weber. On a vu dans notre premier mémoire que O. Kellner évalue à 50,000 kilogrammètres le travail correspondant, pour un cheval de 500 kilogrammes, à un parcours au pas de 2,639 mètres en une heure (1,800 pas).

En introduisant dans notre formule les données fournies par le cheval de Kellner, nous trouvons que le cheval aurait dû produire 49,320 kilogrammètres.

Nous avons dit plus haut que le travail de transport, par pas, était égal au poids du cheval P multiplié par la hauteur de flèche $h$. On a donc :

$$Ph = {}^1/_2\, mv^2$$

$$\text{et } h = {}^1/_2\, \frac{mv^2}{P} = \frac{v^2}{2g}$$

Nous déterminons ainsi indirectement le déplacement vertical du centre de gravité du cheval pendant la marche soit au pas, soit au trot.

Kellner évalue à $0^m,045$ en moyenne le soulèvement du centre de gravité de son cheval pour un pas double. Notre formule conduit à une élévation de $0^m,054$.

Dans le calcul du travail total, nous supposons qu'à chaque pas, dans la descente, le cheval perd exactement la puissance vive qu'il avait produite dans la montée. Dans la marche au pas, on comprend aisément que les choses puissent se passer ainsi lorsque le cheval, en projetant un pied en avant, s'arc-boute sur le sol. Au trot, le même fait se reproduit, mais en raison de la vitesse acquise, il peut se faire que la perte de la puissance vive ne soit pas complète et qu'une partie soit utilisée pour commencer la montée du second pas, en sorte que l'effort nécessaire pour exécuter le second pas soit un peu inférieur à celui qu'a exigé le premier. En raison de l'impossibilité de déterminer cette diminution, nous n'en tiendrons pas compte et nous supposerons qu'au trot les efforts se produisent comme au pas.

En introduisant dans la formule les éléments fournis par nos chevaux soit au pas, soit au trot, on obtient les résultats moyens suivants pour le manège :

| | RAPPORT de l'effort au poids du cheval. | POIDS du cheval. | MASSE $= \frac{P}{g}$ | CHEMIN parcouru. | VITESSE par seconde. | TRAVAIL par seconde $^1/_2 m v^2$. | TRAVAIL total. | EFFORT du cheval pour le transport de son poids. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Cheval nº 1.* | | Kilogr. | | Mètres. | Mètres. | Kgrm. | Kgrm. | Kilogr. |
| Marche au pas, en février 1881 . | 0.064 | 438.6 | 44.715 | 18254.6 | 1.267 | 35.883 | 516715 | 28.32 |
| Marche au trot, en avril 1881 . . | 0.142 | 427.0 | 43.532 | 20126.38 | 2.795 | 170.036 | 1224259 | 60.83 |
| Travail au pas, en décembre 1881. | 0.068 | 451.3 | 46.010 | 19345.49 | 1.343 | 41.478 | 597283 | 30.88 |
| Travail au trot, en mai 1881 . . | 0.150 | 441.2 | 44.980 | 21256.04 | 2.952 | 195.977 | 1411034 | 66.39 |
| Travail au trot, en juin 1881 . . | 0.149 | 447.4 | 45.612 | 21039.7 | 2.922 | 194.717 | 1401962 | 66.64 |
| *Cheval nº 2.* | | | | | | | | |
| Marche au pas, en décembre 1880. | 0.067 | 414.0 | 42.207 | 18996.3 | 1.319 | 36.698 | 528451 | 27.82 |
| Marche au trot, en mai 1881 . . | 0.125 | 408.1 | 41.605 | 17745.2 | 2.464 | 126.292 | 909301 | 51.25 |
| Travail au pas, en janvier 1881. | 0.071 | 426.8 | 43.512 | 20185.10 | 1.401 | 42.707 | 614980 | 30.48 |
| Travail au trot, en mars 1881. . | 0.142 | 420.8 | 42.900 | 20805.50 | 2.803 | 168.511 | 1213279 | 60.11 |
| Travail au trot, en juin 1881 . . | 0.149 | 422.6 | 43.837 | 20772.9 | 2.885 | 182.427 | 1313474 | 63.23 |
| *Cheval nº 3.* | | | | | | | | |
| Marche au pas, en janvier 1881 . | 0.073 | 436.3 | 44.480 | 20763.6 | 1.441 | 46.170 | 661848 | 32.04 |
| Marche au trot, en mars 1881 . . | 0.130 | 435.4 | 44.388 | 18448.47 | 2.562 | 145.659 | 1048744 | 56.85 |
| Travail au pas, en février 1881 . | 0.065 | 456.2 | 46.509 | 18505.66 | 1.285 | 38.393 | 552859 | 29.87 |
| Travail au trot, en avril 1881 . . | 0.142 | 446.1 | 45.479 | 20126.38 | 2.795 | 177.640 | 1279008 | 63.55 |
| Travail au trot, en juin 1881 . . | 0.134 | 452.2 | 46.101 | 18898.1 | 2.624 | 158.702 | 1142654 | 60.48 |

Ces chiffres expliquent suffisamment les variations que nous avons constatées dans l'entretien du cheval soumis, soit à la ration de transport, soit à la ration de travail.

Pour les expériences du camionnage, nous pourrions faire un calcul analogue si nous connaissions le chemin qui a été parcouru au pas et au trot.

Quant aux expériences à la voiture, le travail ayant été fait au trot, on en déduit les chiffres suivants :

| | RAPPORT de l'effort au poids du cheval. | POIDS du cheval y compris le harnais. | MASSE $= \frac{P}{g}$ | CHEMIN parcouru. | VITESSE par seconde. | TRAVAIL par seconde $^1/_2 m v^2$. | TRAVAIL total. | EFFORT du cheval pour le transport de son poids. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Cheval nº 1.* | | Kilogr. | | Mètres. | Mètres | Kgrm. | Kgrm. | Kilogr. |
| Du 1er déc. 1881 au 31 janv. 1882. | 0.118 | 414.6 | 42.268 | 61031 | 2.319 | 113.653 | 2991006 | 49.01 |
| Du 13 juin au 12 août 1882 . . . | 0.121 | 409.7 | 41.768 | 65248 | 2.391 | 119.387 | 3257952 | 49.93 |
| *Cheval nº 2.* | | | | | | | | |
| Du 1er février au 31 mars 1882 . | 0.116 | 440.5 | 44.850 | 63859 | 2.291 | 110.115 | 3065271 | 48.00 |
| *Cheval nº 3.* | | | | | | | | |
| Du 12 avril au 12 juin 1882 . . . | 0.123 | 449.0 | 45.775 | 65791 | 2.430 | 135.148 | 3658997 | 55.61 |

En ajoutant ce travail exigé pour le transport du cheval au travail extérieur que nous avons déjà donné, on obtient le travail total auquel correspondent les différences entre les rations de transport ou de travail et la ration d'entretien. On remarquera que le rapport de l'effort au poids du cheval varie peu pour un même mode de mouvement. Ce rapport, que nous désignons sous le nom de coefficient de transport, varie dans le même rapport que la vitesse.

Ainsi, pour un même poids, pour une vitesse double, le cheval développera un effort double. Les coefficients admis de $^1/_{10}$ pour l'effort au trot et de $^1/_{20}$ pour l'effort au pas présentent ce rapport. On voit qu'ils ne peuvent être appliqués que lorsque la vitesse moyenne du cheval est de 1 mètre par seconde au pas ou de 2 mètres au trot. Mais il est toujours possible de connaître le coefficient de transport correspondant à une vitesse quelconque.

### V. — Des coefficients de digestibilité.

L'étude des coefficients de digestibilité dans les essais au repos, à la marche ou au travail conduit à des faits importants qui n'ont pas encore été signalés jusqu'ici. Afin de pouvoir les comparer plus facilement dans les divers modes de mouvement ou de travail, nous les résumons dans le tableau suivant. Nous rappelons que, pendant les expériences du camionnage ou de la voiture, il ne nous a pas été possible de recueillir les excréments des chevaux au travail.

TABLEAU.

| | CARBONE. | HYDROGÈNE. | AZOTE. | OXYGÈNE. | SUBSTANCE organique. | GLUCOSE. | CELLULOSE. | AMIDON. | GRAISSE. | MATIÈRE azotée. | INDÉTERMINÉS. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Cheval n° 1.* | | | | | | | | | | | |
| Au repos — novembre 1880 . . | 69.86 | 68.55 | 74.88 | 76.08 | 72.65 | 100.00 | 47.65 | 84.73 | 56.11 | 74.88 | 52.08 |
| Au repos — janvier 1881 . . . | 71.05 | 72.99 | 78.42 | 76.07 | 73.53 | 100.00 | 46.96 | 85.30 | 68.95 | 78.42 | 51.67 |
| Au repos — mars 1881. . . . . | 71.55 | 71.64 | 75.17 | 76.17 | 73.68 | 100.00 | 50.61 | 88.71 | 64.82 | 75.17 | 42.01 |
| Au repos — février 1882. . . . | 68.46 | 70.20 | 76.03 | 74.29 | 71.29 | 100.00 | 42.17 | 88.28 | 55.48 | 76.03 | 31.36 |
| Au repos — mars 1882 . . . . | 71.17 | 73.88 | 77.21 | 76.93 | 73.99 | 100.00 | 49.69 | 88.91 | 62.96 | 77.21 | 37.92 |
| Marche au pas, février 1881. . | 70.42 | 70.73 | 75.75 | 76.0[illegible] | 73.02 | 100.00 | 46.47 | 84.55 | 69.64 | 75.75 | 52.59 |
| Marche au trot, avril 1881 . . | 67.38 | 65.25 | 70.72 | 71.76 | 69.27 | 100.00 | 38.43 | 86.56 | 59.62 | 70.72 | 35.92 |
| Travail au pas, décembre 1880. | 70.09 | 70.63 | 73.70 | 75.08 | 72.41 | 100.00 | 46.74 | 85.36 | 62.08 | 73.70 | 49.14 |
| Travail au trot, mai 1881. . . | 63.46 | 65.28 | 65.61 | 68.68 | 65.92 | 100.00 | 34.38 | 84.49 | 55.76 | 65.61 | 28.72 |
| Travail au trot, juin 1881. . . | 64.08 | 65.50 | 69.49 | 69.37 | 66.61 | 100.00 | 31.33 | 84.91 | 57.51 | 69.48 | 30.66 |
| *Cheval n° 2.* | | | | | | | | | | | |
| Au repos — novembre 1880 . . | 66.59 | 65.76 | 68.03 | 73.73 | 69.75 | 100.00 | 42 17 | 82.99 | 53.96 | 68.63 | 49.96 |
| Au repos — février 1881. . . . | 68.19 | 68.48 | 69.47 | 73.3[illegible] | 70.52 | 100.00 | 41.19 | 82.98 | 58.86 | 69.47 | 53.40 |
| Au repos — avril 1881. . . . . | 69.35 | 70.38 | 70.13 | 75.21 | 72.03 | 100.00 | 47.51 | 88.11 | 54.76 | 70.13 | 42.01 |
| Au repos — 20 avril-mai 1882 . | 66.08 | 67.53 | 65.21 | 71.57 | 68.54 | 100.00 | 42.94 | 87.07 | 48.50 | 65.21 | 28.67 |
| Au repos — 21 mai-juin 1882. . | 66.10 | 65.67 | 67.75 | 71.71 | 68.56 | 100.00 | 41.74 | 87.20 | 49.31 | 67.75 | 26.98 |
| Au repos — (f.) 24 juin-juillet 1882. | 65.2[illegible] | 67.18 | 68.74 | 71.49 | 68.15 | 100.00 | 41.80 | 86.85 | 42.06 | 68.74 | 26.58 |
| Au repos — (f.) 19 juil.-12 août 1882. | 66.08 | 66.84 | 67.22 | 72.45 | 68.94 | 100.00 | 43.45 | 87.58 | 47.27 | 67.22 | 27.73 |
| Marche au pas, décembre 1880. | 68.59 | 69.01 | 70.13 | 74.31 | 71.19 | 100.00 | 43.91 | 83.65 | 48.57 | 70.13 | 54.71 |
| Marche au trot, mai 1881 . . . | 65.57 | 67.13 | 65.17 | 71.99 | 68.49 | 100.00 | 39.29 | 86.52 | 44.92 | 65.17 | 36.44 |
| Travail au pas, janvier 1881. . | 65.59 | 66.49 | 67.51 | 71.61 | 68.35 | 100.00 | 39.10 | 81.65 | 61.62 | 67.51 | 47.74 |
| Travail au trot, mars 1881 . . | 65.28 | 67.69 | 63.87 | 72.00 | 68.40 | 100.00 | 39.29 | 85.54 | 53.50 | 63.87 | 34.72 |
| Travail au trot, juin 1881 . . | 64.50 | 64.93 | 63.83 | 70.37 | 67.11 | 100.00 | 36.97 | 85.86 | 51.50 | 63.83 | 31.78 |
| *Cheval n° 3.* | | | | | | | | | | | |
| Au repos — novembre 1880 . . | 70.73 | 71.86 | 77.41 | 75.61 | 73.10 | 100.00 | 49.15 | 84.63 | 53.55 | 77.41 | 52.56 |
| Au repos — décembre 1880 . . | 70.17 | 70.68 | 76.39 | 75.60 | 72.70 | 100.00 | 46.24 | 84.26 | 61.21 | 76.39 | 52.83 |
| Au repos — mai 1881 . . . . . | 69.31 | 70.99 | 73.08 | 74.53 | 71.79 | 100.00 | 43.22 | 87.63 | 60.98 | 73.08 | 40.71 |
| Au repos — décembre 1881 . . | 69.75 | 74.15 | 78.02 | 75.80 | 72.85 | 100.00 | 42.14 | 88.78 | 66.87 | 78.02 | 32.85 |
| Au repos — janvier 1882 . . . | 71.29 | 71.98 | 79.00 | 75.89 | 73.51 | 100.00 | 43.85 | 88.95 | 67.77 | 79.00 | 34.21 |
| Au repos — (f.) février 1882. . . . | 73.02 | 73.90 | 79.14 | 77.12 | 75.00 | 100.00 | 49.44 | 89.61 | 70.99 | 79.14 | 38.49 |
| Au repos — (f.) mars 1883. . . . . | 71.83 | 73.72 | 77.81 | 77.33 | 74.48 | 100.00 | 51.52 | 89.37 | 63.91 | 77.81 | 37.25 |
| Au repos — (f.) 21 juin-18 juil. 1882. | 69.51 | 72.73 | 74.66 | 77.06 | 73.12 | 100.00 | 49.63 | 89.15 | 55.63 | 74.66 | 36.10 |
| Au repos — (f.) 19 juil.-12 août 1882. | 69.13 | 72.49 | 75.29 | 74.49 | 71.81 | 100.00 | 46.13 | 88.76 | 52.56 | 75.29 | 31.97 |
| A la marche au pas, janv. 1881. | 70.35 | 69.91 | 75.84 | 69.90 | 72.53 | 100.00 | 41.76 | 83.97 | 60.09 | 75.84 | 57.22 |
| A la marche au trot, mars 1881. | 66.87 | 68.23 | 70.23 | 72.50 | 69.52 | 100.00 | 40.79 | 85.68 | 52.78 | 70.22 | 36.96 |
| Au travail au pas, février 1881. | 67.65 | 69.24 | 74.58 | 71.37 | 69.53 | 100.00 | 32.54 | 82.04 | 62.59 | 74.58 | 52.32 |
| Au travail au trot, avril 1881 . | 62.96 | 65.18 | 70.33 | 69.06 | 65.94 | 100.00 | 28.83 | 84.83 | 55.83 | 70.33 | 30.19 |
| Au travail au trot, juin 1881. . | 62.14 | 65.41 | 67.63 | 69.21 | 65.57 | 100.00 | 27.46 | 84.92 | 58.82 | 67.62 | 28.21 |

De ce tableau, il ressort que la digestibilité varie avec le repos et le mouvement, et que le mode même de mouvement pendant la marche ou pendant le travail a une influence très nette. A part la glucose, qui a été constamment digérée en totalité, si l'on examine les résultats obtenus pour les essais du 1[er] novembre 1880 au 9

juillet 1881 et particulièrement ceux de mars à juin, on voit d'abord :

1° Que les coefficients sont différents pour les trois chevaux : il y a donc ici une influence individuelle dont il faut tenir compte ;

2° Que l'utilisation la plus grande de la totalité de la ration a eu lieu pendant le repos et la marche au pas, tandis que la plus faible correspond à la marche au trot ou au travail au trot ;

3° Que l'assimilation pendant le travail au pas a été plus grande que pendant le travail au trot.

En ce qui concerne les principes immédiats, considérés séparément dans les rations de repos, de marche au trot et de travail au trot, de mars à juin 1881 :

1° L'utilisation de l'amidon a été sensiblement plus faible pendant la marche au trot et le travail au trot que pendant le repos ; pendant la marche au pas et le travail au pas, de décembre 1880 à février 1881, elle était restée sensiblement la même ;

2° La graisse offre des variations analogues ; elle a été moins bien utilisée pendant la marche et le travail au trot que pendant le repos ;

3° Les matières azotées ont été moins bien digérées pendant le travail que pendant le repos. Les coefficients minima correspondent au travail au trot ;

4° Mais ce sont surtout les indéterminés et la cellulose qui ont donné les plus grands écarts. Le coefficient qui était pour la cellulose d'environ 50 p. 100 pour les chevaux n° 1 et n° 3 au repos, tombe à 31.33 p. 100 pour le cheval n° 1 et à 27.46 p. 100 pour le cheval n° 3 pendant le travail au trot en juin 1881. Chez le cheval n° 2, le coefficient est tombé aussi à 36.97 p. 100. Pour les indéterminés, on observe des écarts plus grands et dans le même sens. Une conséquence remarquable résulte des faits que nous venons d'établir : c'est la nécessité qu'il y a de déterminer isolément, dans les rations, l'amidon et de ne pas confondre celui-ci avec les indéterminés, comme cela a eu lieu jusqu'ici dans les expériences faites en Allemagne.

Il importe de noter ici que les différences constatées, principalement celles qui sont relatives à la cellulose et aux indéterminés, ne

sauraient être attribuées à l'analyse. En effet, les dosages de ces principes, soit dans les aliments, soit dans les fèces (expériences de mars à juin 1881), ont été faits simultanément par les mêmes méthodes et dans des conditions tout à fait identiques. On ne saurait invoquer ici les influences des réactifs qui ont constamment agi dans le même temps et dans des conditions tout à fait similaires et irréprochables.

Nous avons rappelé dans notre premier mémoire que E. Wolff a trouvé que, quelle que soit la quantité de foin ingérée, la digestibilité des principes immédiats n'augmente pas et qu'un travail journalier très différent, soit comme durée, soit comme effort de traction, n'exerce aucune influence sur la digestibilité de l'ensemble du fourrage. Si les observations de E. Wolff sont exactes, les différences que nous avons constatées dans les coefficients de digestibilité ne sauraient être attribuées au mode de mouvement suivant lequel le travail a été produit. Mais nous ne pouvons admettre cette hypothèse, car, à part la graisse qui offre quelques irrégularités, nous trouvons que, pour les essais du 1er novembre 1880 à février 1881, la marche au pas a constamment donné, pour les chevaux n° 1 et n° 2, des coefficients de digestibilité plus forts que pour le trot ou le travail au pas, et que c'est à la marche au pas que l'utilisation totale du fourrage paraît avoir été la plus grande. Nous sommes conduits à attribuer au travail, et particulièrement au mode de mouvement qui l'a produit, une influence déprimante sur le coefficient de digestibilité.

Nous nous trouvons donc en concordance avec cette observation pratique journalière : que c'est pendant le repos et avec un exercice modéré que l'assimilation se fait le mieux.

C'est l'amidon qui a toujours donné le coefficient le plus élevé : il joue un rôle prépondérant dans la nutrition. Aussi croyons-nous utile de présenter quelques observations à ce sujet. On se rappelle que nous avons dosé comme amidon la portion des fourrages qui, sous l'influence des acides, se transforme en glucose. Or, indépendamment de l'amidon, la cellulose peu agrégée jouit aussi partiellement de cette propriété. Les taux d'amidon que nous avons indiqués comprennent donc cette fraction de cellulose qui a été dis-

soute. Or, A. Müntz vient d'établir par quelques expériences sur le cheval que : 1° l'amidon est intégralement assimilé par l'organisme ; 2° la partie cellulosique qui se transforme en glucose sous l'influence des acides n'est utilisée que dans la proportion de 75 à 95 p. 100.

Nous avons cherché, par des dosages spéciaux, à déterminer la quantité d'amidon qui restait dans les fèces provenant de nos chevaux d'expériences et nous n'en avons trouvé qu'une proportion variant de 0.61 à 1.52 p. 100 de la substance sèche. Cette faible teneur est due sans doute à la présence de grains ayant échappé à la digestion, soit qu'ils n'aient pas été mastiqués, soient qu'ils aient été entraînés mécaniquement dans les fèces. L'amidon a donc été dosé, en réalité, trop haut dans les fèces en suivant la méthode ordinaire, et, par suite, a conduit à des coefficients de digestibilité trop faibles. Cela montre que ce que nous avons appelé *amidon* dans nos analyses de fèces ne correspond, presque en totalité, qu'à de la cellulose saccharifiable soluble dans les acides. Il suit de là que cette portion de cellulose, soluble dans les réactifs, qui n'est pas assimilée au même degré que l'amidon, doit être envisagée à part.

En appliquant à nos expériences les données fournies par A. Müntz, relativement à la proportion de cellulose saccharifiable, nous trouverions en effet que la totalité de l'amidon aurait été digérée dans toutes nos rations. L'étude de la digestibilité des matières azotées conduit à un fait très important : c'est pendant la marche ou le travail au pas, alors que le travail kilogrammétrique était minimum, que les chevaux en ont assimilé les poids maxima, tandis que pendant la marche et le travail au trot, lorsque le travail kilogrammétrique était maximun, ils en ont assimilé des poids minima. Nous reviendrons plus loin sur cet intéressant résultat.

## VI. — Valeur dynamique des aliments.

Pour compléter cette étude, il était nécessaire de rechercher la relation qui lie les éléments organiques ou les principes immédiats des fourrages consommés au travail mécanique produit. La connaissance de cette ration est très importante pour nous. Il n'est pas in-

différent, en effet, de donner à un cheval, pour la production d'un même travail extérieur utilisable, des matières azotées ou des matières amylacées. Ces dernières ne reviennent, dans la ration de nos chevaux qu'à 0 fr. 10 c. ou 0 fr. 15 c. le kilogramme, alors que la protéine nous coûte de 0 fr. 50 c. à 0 fr. 60 c. le kilogramme. Nous avons donc tout intérêt à connaître, parmi ces deux ordres de principes immédiats, celui que nous devons considérer comme producteur du travail. On sait que les physiologistes sont partagés aujourd'hui relativement à la production de la force dans l'organisme, entre deux opinions différentes qui semblent avoir été, l'une et l'autre, une conséquence de la division remarquable des aliments établie par Liebig, en aliments plastiques et en aliments respiratoires. Cette division absolue, que les progrès de la science ont condamnée, est reproduite aujourd'hui sous un autre aspect, au point de vue de l'origine de la force musculaire. Suivant Liebig, Wolff, Playfair, Kellner, c'est la matière azotée qui l'engendre, tandis que, d'après Frankland, Pettenkofer, Voit, etc., c'est aux matières hydrocarbonées qu'il faut attribuer la prépondérance. Les résultats expérimentaux que nous avons obtenus, joints à l'observation pratique de l'état de toute la cavalerie de la Compagnie générale des voitures, pendant ces deux dernières années, nous rattachent à la dernière école et nous font envisager les matières hydrocarbonées comme sources de la force musculaire. Les principes immédiats digérés, grâce à l'oxygène charrié constamment par le sang, se dédoublent, s'oxydent dans l'organisme avec dégagement de chaleur. Cette chaleur, si elle n'est utilisée immédiatement pour faire un travail, s'accumule sous forme d'énergie qui, à un moment donné, se transforme en travail mécanique. La transformation de la chaleur en énergie ou en travail mécanique s'effectue suivant un rapport constant. Il suit de là que l'on peut passer de l'un à l'autre, et que les principes immédiats qui, dans l'organisme, produisent le plus de chaleur ou d'énergie, doivent être considérés comme fournissant le plus de travail.

Mais le calcul de la chaleur produite dans l'organisme ne saurait s'établir qu'autant que nous connaîtrions les transformations successives des aliments dans l'économie. Les expériences de Dulong et Despretz reposaient sur des hypothèses qui n'ont pas été entière-

ment justifiées; elles ont donné toutefois des résultats assez rapprochés pour ce genre de recherches, à $^1/_5$ environ. Les travaux remarquables de mécanique chimique dus à M. Berthelot montrent comment doit être compris aujourd'hui le problème de la chaleur animale. Il est indispensable de connaître les produits intermédiaires en lesquels se transforment les aliments : car les dédoublements, les hydratations, les déshydratations, les combustions complètes ou incomplètes qui s'effectuent dans l'organisme, sont les origines de la production de la chaleur. La connaissance incomplète, d'une part, des matières azotées et des indéterminés dans les rations, d'autre part, des modifications des principes immédiats dans les tissus ne nous permettent pas d'aborder entièrement ce problème. Cependant, il nous paraît utile, en nous basant sur les faits actuellement connus, de rechercher quelle relation lie le travail mécanique produit à la ration consommée. Tout incomplète que soit cette tentative, elle n'en mettra pas moins en évidence certains faits dont l'interprétation ne saurait être douteuse. Malheureusement, toutes nos expériences ne nous permettent pas ces déductions. En effet, dans la plupart d'entre elles, le cheval a augmenté de poids et nous ne savons pas aux dépens de quelle fraction de la ration. Les essais ayant conduit à une perte de poids doivent aussi, pour la raison inverse, être négligés. Nous ne pouvons, par suite, nous servir que des résultats fournis par le cheval n° 2 en novembre et décembre 1880 et en janvier 1881.

Comme nous n'avons aucun moyen d'évaluer directement le travail mécanique intérieur effectué par le cheval au repos, il ne nous paraît pas nécessaire d'établir la valeur calorifique de la ration correspondante. Nous ne nous occuperons que de la ration de transport et de la ration de travail.

Nous rappelons que le cheval au repos faisait chaque jour une promenade d'une heure correspondant à 4,000 mètres environ de parcours. Le cheval n° 2, qui s'est maintenu à un poids stationnaire en novembre, a légèrement augmenté en décembre. Mais négligeons cette faible augmentation et supposons qu'il s'est maintenu dans les deux cas à un poids stationnaire.

Il est bien évident que la différence constatée dans la quantité di-

gérée des principes élémentaires ou immédiats en novembre et en décembre correspond au travail développé pendant la marche et aux conséquences de pertes de chaleur auxquelles ce travail a donné lieu (excès d'évaporation, etc.).

Calculons d'abord la valeur calorifique de cette différence, d'après la méthode de Dulong. Nous admettons que l'azote correspondant à la matière azotée digérée s'est retrouvée en totalité dans l'urine et s'est partagé proportionnellement aux quantités d'azote de l'urée, de l'acide hippurique et de la créatinine dosées directement :

| | CARBONE. | HYDROGÈNE. | AZOTE. | OXYGÈNE. |
|---|---|---|---|---|
| Digéré en décembre 1880. . . . | 1680gr,413 | 210gr,877 | 71gr,427 | 1698gr,090 |
| Digéré en novembre 1880. . . . | 1487 ,279 | 183 ,296 | 63 ,938 | 1542 ,787 |
| Différence. . . . . | 193gr,134 | 27gr,581 | 7gr,489 | 155gr,303 |
| L'urine contient en décembre . . | 38 ,80 | 10 ,91 | 71 ,427 | 44 ,01 |
| L'urine contient en novembre . . | 38 ,67 | 9 ,86 | 63 ,938 | 40 ,07 |
| Différence. . . . . | 0gr,13 | 1gr,05 | 7gr,489 | 3gr,94 |
| Il reste donc. . . . . . . . . . | 193 ,004 | 26 ,531 | » | 151 ,363 |

pour donner la chaleur exigée pour la production de la marche au pas.

Or, l'oxygène correspond à $\frac{151,363}{8}$ = 18gr,92 d'hydrogène.

Il ne reste donc, en définitive, comme producteurs de chaleur dans l'organisme que :

Carbone. . . . . 193gr,004
Hydrogène. . . . 26 ,53 — 18gr,92 = 7gr,61

En adoptant les chiffres de M. Berthelot (6 grammes de carbone = 47 calories), ces quantités donnent :

C = 0.193 × 7833 = 1,511cal,7
H = 0,00761 × 34500 = 262 ,5
Total. . . . 1,774cal,2

Mais le cheval a

| | Ingéré : Eau. | Ingéré : Substance sèche. | Rendu par la perspiration : Eau. |
|---|---|---|---|
| En décembre 1880. . . | 13,858 gr. | 5,377gr,97 | 4,875 gr. |
| En novembre 1880. . . | 11,064 | 4,914 ,10 | 3,480 |
| Différence . . . | 2,794 gr. | 463gr,87 | 1,395 gr. |

L'eau ingérée et la substance sèche de la ration ont exigé, pour être portées à la température du corps (38°), une certaine quantité de chaleur qui est comprise dans les 1,774$^{cal}$,2, ainsi que la chaleur employée à la vaporisation à la température du corps, à 38°, des 1,395 grammes d'eau en excès.

En admettant que la température de l'écurie ait été constamment de 5°, celle de l'eau bue 8° et la chaleur spécifique de la substance sèche égale à 0,65, on obtient :

1° Chaleur nécessaire pour porter de 5° à 38° l'excès de boisson :

2.794 × (38 — 8) = 83.82; ci. . . . . . . . . . . . . . 83$^{cal}$,82

2° Chaleur nécessaire pour porter de 5° à 38° l'excès de substance sèche :

0.46387 × 0.65 × (38 — 5) = 9.93; ci . . . . . . . . . 9 ,93

3° Chaleur nécessaire pour vaporiser l'excès d'eau rendue :

606.5 + 0.305 × 38 — 38 = 580.1 (pour 1 kilogr., Regnault).
580.1 × 1,395 = 809.23 ; ci. . . . . . . . . . . . . . . . 809 ,23
Total . . . . . . . . . . . . 902$^{cal}$,98

Si les conditions de rayonnement et de mouvement dans la stalle sont restées les mêmes qu'en novembre, il est bien évident, en admettant que le poids du cheval soit resté constamment stationnaire, que la différence de chaleur :

1,774$^{cal}$,2 — 902,98 = 871$^{cal}$,32

correspond au travail dû à la marche, c'est-à-dire en appliquant l'équivalent mécanique de la chaleur égale à :

425 × 871.32 = 369,311 kilogrammètres.

Si, à la même expérience, on applique, aussi bien qu'on peut le faire dans l'état actuel de nos connaissances, les principes de mécanique chimique posés par M. Berthelot, on arrive à des résultats très approchés des précédents. La chaleur de combustion des matières azotées a été calculée en prenant pour base l'albumine et admettant que la totalité de l'azote est passée dans l'urine en donnant des poids d'urée, d'acide hippurique et de créatinine exacte-

ment proportionnels à ceux qui ont été dosés directement dans l'urine du cheval n° 2, en décembre 1880.

Nous avons tenu compte de la chaleur dégagée par l'hydratation de la cellulose ; l'amidon et les indéterminés ont été transformés en glucose à laquelle on a appliqué la chaleur de combustion déduite des données de M. Berthelot. Voici les résultats que nous avons obtenus :

| | MATIÈRE azotée. | GRAISSE. | AMIDON, cellulose et indéterminés. | CELLULOSE. | GLUCOSE. |
|---|---|---|---|---|---|
| Digéré en décembre 1880. . | 446gr,23 | 80gr,54 | 3,059gr,40 | 288gr,48 | 74gr,64 |
| Digéré en novembre 1880. . | 399 ,42 | 83 ,46 | 2,729 ,14 | 252 ,73 | 65 ,28 |
| Différence. . . . . | 46gr,81 | » | 330gr,26 | 35gr,75 | 9 ,36 |

Chaleur produite par les matières azotées :

$$0{,}04681 \times 4668 = 218^{cal}{,}5;\ \text{ci} \ldots\ldots \quad 218^{cal}{,}5$$

Hydratation de la cellulose :

$$\frac{35{,}75 \times 1{,}111 \times 149}{180} = 32^{cal}{,}8;\ \text{ci} \ldots\ldots \quad 32\ {,}8$$

Chaleur produite par l'amidon, la glucose, les indéterminés et la cellulose calculés en glucose :

$$0{,}37626 \times 3961 = 1{,}490^{cal}{,}36;\ \text{ci} \ldots\ldots \quad 1{,}490\ ,$$

Total. . . . . . . . . . . $1{,}741^{cal}{,}6$

au lieu de $1{,}774^{cal}{,}2$ données par la méthode de Dulong. Ces $1{,}741^{cal}{,}6$ doivent être considérées comme un minimum, car, faute de données suffisantes, nous n'avons pu tenir compte ni de la chaleur de formation des matières azotées, ni de celle d'hydratation de l'amidon.

Le travail mécanique de la marche serait donc donné par :

$$425\ (1{,}741^{cal}{,}6 - 902^{cal}{,}98) = 356{,}413 \text{ kilogrammètres.}$$

Rapprochons maintenant de ces résultats celui qui est donné par l'application à la marche de la formule mécanique du travail que nous avons précédemment indiquée.

Le poids moyen du cheval était en décembre (matin et soir) $\frac{413,2+414,8}{2} = 414$ kilogrammes.

Le parcours moyen en 4 heures était de 18,996$^{m}$,3 et la vitesse par conséquent de $\frac{18996,3}{14400} = 1^{m},319$.

Mais, pendant le repos, le cheval faisait, par jour, environ 4,000 mètres de promenade. L'excédent de la ration de transport sur la ration de repos ne s'applique donc qu'à un chemin parcouru de 18,996,3 — 4,000 = 14,996$^{m}$,3, en $\frac{14996,3}{1,319} = 11,369$ secondes.

Or, on a :

$$T = {}^{1}/_{2}\, mv^2 = \frac{414\ (12319)}{2 \times 9,808} = 36^{kgrm},347 \text{ par seconde},$$

d'où pour le parcours correspondant à l'excès de ration :

$$36,347 \times 11,369 = 413,229 \text{ kilogrammètres.}$$

Le travail de la marche, déduit soit de considérations mécaniques, soit de l'examen chimique de la nutrition, est représenté par des résultats satisfaisants. Leur concordance devient très grande si l'on tient compte que la méthode de Dulong ne permet pas de calculer en totalité la chaleur réelle développée dans l'organisme.

Si l'on fait des calculs analogues pour l'expérience du travail de janvier 1881, on trouve les chiffres suivants :

| | CARBONE. | HYDROGÈNE. | AZOTE. | OXYGÈNE. |
|---|---|---|---|---|
| Digéré en janvier 1881. . . . . | 2136$^{gr}$,70 | 268$^{gr}$,81 | 92$^{gr}$,19 | 2164$^{gr}$,78 |
| Digéré en novembre 1880. . . . | 1487 ,28 | 183 ,29 | 63 ,90 | 1542 ,18 |
| Différence . . . . . | 649$^{gr}$,42 | 85$^{gr}$,52 | 28$^{gr}$,29 | 622$^{gr}$,00 |
| L'urine contient en janvier 1881. | 56 ,68 | 14 ,28 | 92 ,19 | 45 ,55 |
| L'urine contient en nov. 1880. . | 38 ,67 | 9 ,86 | 63 ,90 | 40 ,07 |
| Différence . . . . . | 18$^{gr}$,01 | 4$^{gr}$,42 | 28$^{gr}$,29 | 5$^{gr}$,48 |
| Il reste donc. . . . . . . . . | 631 ,41 | 81 ,10 | » | 616 ,52 |

qui ont fourni la chaleur nécessaire pour le travail au pas.

Les 616$^{gr}$,52 d'oxygène exigent $\frac{616,52}{8} = 77^{gr},06$ d'hydrogène.

La quantité d'hydrogène à brûler est donc de 81,10 — 77,06 = 4$^{gr}$,04.

Ces éléments fournissent :

| | | |
|---|---|---|
| Le carbone . . . . . | $0,63141 \times 7,833 =$ | $4945^c,8$ |
| L'hydrogène. . . . . | $0,00401 \times 34,500 =$ | $139,4$ |
| | Total. . . . . | $5085^c,2$ |

Le cheval a

| | Ingéré : Eau. | Ingéré : Substance sèche. | Évaporé : Eau |
|---|---|---|---|
| En janvier 1881. . . . . . . . | $17820^{gr}$ | $7142^{gr},17$ | $6256^{gr}$ |
| En novembre 1880. . . . . . . | 11064 | 4914 ,10 | 3480 |
| Différence. . . . . . . . | $6756^{gr}$ | $2228^{gr},37$ | $2776^{gr}$ |

1° Chaleur nécessaire pour porter de 8° à 38° l'excès de boisson :

$6756 \times 30 = 202^c,7$ ; ci. . . . . . . . . . . . . . . . . $202^c,7$

2° Chaleur nécessaire pour porter de 5° à 38° l'excès de substance sèche :

$2,22837 \times 0,65 \times 33 = 47,80$ ; ci . . . . . . . . . . 47 ,8

3° Chaleur nécessaire pour vaporiser l'excès d'eau :

$580,1 \times 2776 = 1610^c,3$ ; ci. . . . . . . . . . . . . . . 1610 ,3

Total. . . . . . . . . . . . . . $1860^c,8$

Si l'on suppose que le rayonnement soit resté constamment le même, la différence $5,085^c,2 - 1,860,8 = 3,324^c,4$ représentera la quantité de chaleur qui a dû produire le travail. Elle correspond à un travail mécanique de :

$425 \times 3224,4 = 1,370,370$ kilogrammètres.

En partant des principes immédiats, on aurait :

| | Matières azotées. | Graisse. | Cellulose. | Amidon et indéterminés. | Glucose. |
|---|---|---|---|---|---|
| Digéré en janvier 1881 . . | $376^{gr},24$ | $136^{gr},11$ | $336^{gr},59$ | $3513^{gr},85$ | $99^{gr},76$ |
| Digéré en novembre 1880. . | 399 ,42 | 83 ,46 | 252 ,73 | 2476 ,41 | 65 ,28 |
| Différence. . . | $176^{gr},82$ | $52^{gr},65$ | $83^{gr},86$ | $1037^{gr},44$ | $34^{gr},48$ |

Chaleur donnée par les matières azotées :

$0,17682 \times 4,668 = 825^c,4$ ; ci. . . . . . . . . . . . . . $825^c,4$

Chaleur donnée par la graisse :

$0,05265 \times 9,069 = 477^c,5$ ; ci. . . . . . . . . . . . . . $477,5$

Chaleur donnée par l'hydration de la cellulose :

$\frac{0,08386 \times 1,111 \times 119}{180} = 77^c,0$ ; ci . . . . . . . . . . . . . $77,0$

Chaleur donnée par l'amidon, la glucose, la cellulose et les indéterminés calculés en glucose :

$1,2802 \times 3,961 = 5,070^c,8$ ; ci . . . . . . . . . . . . . $5,070,8$

Total. . . . . . . . . . . . . . $6,450^c,7$

d'où chaleur correspondant au travail :

$6,450^c,7 - 1,860,8 = 4,589^c,9 = 425 \times 4,589^c,9 = 1,950,707$ kilogrammètres.

L'écart est ici, pour le travail au pas, beaucoup plus grand que pour la marche.

Les considérations mécaniques conduisent aux chiffres suivants :

Poids moyen du cheval : $\frac{424,5 + 429,1}{2} = 426^k,8$.

Parcours moyen : $20^k,185,10$, à la vitesse de $\frac{20,185,10}{14,400} = 1^m,401$.

Parcours effectif correspondant à l'excès de la ration de travail sur la ration d'entretien :

$2,0185,10 - 4,000 = 16,185^m,10$ en $\frac{16,185,10}{1,401} = 11,552$ secondes.

On a par seconde :

$$T = {}^1/_2\, mv^2 = \frac{426,8\ (1,401)^2}{2 \times 9,808} = 42^{kgrm},706,$$

d'où :

| | |
|---|---|
| Travail dû à la marche, $42,706 \times 11,552 =$ . . . | 493,339 kilogrammètres. |
| Le travail extérieur utilisable du manège a été en moyenne de . . . . . . . . . . . . . . . . . | 421,780 — |
| Le travail total a donc été de. . . . | 915,119 kilogrammètres. |

Si l'excès digéré de la ration de travail sur la ration de repos a pu produire un travail mécanique total de 1,950,707 kilogrammètres, et si le travail dû à la marche au pas sans traction est bien de 493,339 kilogrammètres, la différence 1,950,707 — 493,339 = 1,457,368 kilogrammètres sera le travail mécanique développé par le cheval pour effectuer avec le manège un travail extérieur utilisable de 421,780 kilogrammètres. Le coefficient économique du cheval serait donc de $\frac{421,780}{1,457,368} = 0,29$, c'est-à-dire sensiblement égal à celui de 0,30 qui est actuellement admis.

Tous ces développements montrent clairement la possibilité d'évaluer, la digestibilité des fourrages étant toutefois connue, la quantité de travail mécanique utilisable que pourra fournir une ration donnée. Pour cela, il suffirait de connaître sa valeur calorifique. La force musculaire a son origine tout entière dans la chaleur produite par les oxydations dont le muscle est le siège lorsqu'il entre en activité. La physiologie nous apprend que les matériaux de ces combustions intramusculaires sont fournis par le sang et dérivent de la graisse et des hydrates de carbone des aliments. L'expérience de Béclard sur la variation de chaleur du muscle en activité et au repos a vérifié expérimentalement, pour les êtres vivants, le grand principe de la transformation de la chaleur en travail mécanique. Le muscle peut être comparé à une sorte de machine transformant la chaleur en travail. Mais, pendant cette transformation de la chaleur en travail, le muscle use très peu de sa propre substance, et les produits de la combustion intramusculaire dérivent surtout des graisses et des amylacés. Si, comme le prétendait Liebig, le travail musculaire était produit aux dépens du muscle lui-même, il est évident que l'on aurait trouvé dans les produits de sa combustion des dérivés azotés en quantité proportionnelle au travail effectué. Il n'en est rien ; l'excès d'urée constaté dans l'excrétion ne s'est jamais trouvé en rapport direct avec le travail. En outre, la combustion du muscle ne pourrait produire la chaleur correspondante au travail exécuté : les calculs établis plus haut montrent en effet que la chaleur développée par les matières azotées n'est qu'environ le 1/8 de celle qui était nécessaire pour la production de la marche ou du travail.

En comparant les quantités d'azote rendues par nos trois chevaux,

dans les urines, pendant la marche au pas et au trot, on trouve ce fait caractéristique et assez inattendu : que pendant la marche au trot, tout en produisant un travail mécanique environ deux fois plus considérable qu'au pas, nos trois chevaux ont constamment rendu dans l'urine moins d'azote que pendant la marche au pas. Et les chevaux n° 2 et n° 3 surtout n'ont pas formé de chair : ils ont plutôt brûlé de leurs tissus, puisqu'il y a eu diminution de poids ; et cependant malgré cela, leur urine contenait moins d'azote pendant la marche au trot que pendant la marche au pas. On peut en conclure que l'excès de travail de la marche au trot sur la marche au pas n'a pas été produit par les matières azotées.

Nous n'avons pas à tenir compte de l'augmentation dans l'urine de l'azote pendant la marche, par rapport à l'azote dérivant de la ration d'entretien, ni de l'accroissement de l'azote rendu pendant le travail. On se rappelle que la matière azotée des rations de marche et de travail se trouvait reliée à celle de la ration d'entretien par les rapports suivants :

Ration de transport = $^{11}/_{10}$ de la ration d'entretien.
Ration de travail = $^{3}/_{2}$ de la ration d'entretien.

Or, ces rapports se conservent précisément entre les quantités d'azote rendu dans les urines.

Bien plus, pendant la marche ou le travail au pas au manège, nous avons noté constamment une augmentation de poids des chevaux, tandis que pendant la marche ou le travail au trot, le poids des chevaux s'est maintenu stationnaire, ou a diminué. Il suit de là que dans les essais au pas, le poids d'azote dosé dans l'urine devait être inférieur à celui des urines recueillies dans les essais au trot. Or, c'est précisément l'inverse qui s'est produit. Cela montre que l'augmentation ou la diminution de poids n'ont pas porté principalement sur les muscles et qu'à un accroissement dans le travail produit ne répond pas un surcroît dans le poids de l'urée rendue.

Quant au travail au pas et au trot, à l'exception du cheval n° 2, pour lequel on a constaté en janvier 1881 un déficit anormal d'azote, les résultats sont les mêmes que dans le cas de la marche pour les chevaux n° 1 et n° 3.

Pour nous, et d'après nos expériences, il est certain que les matières azotées ne sont pas les éléments générateurs de la force musculaire. Si l'on examine d'un peu près les résultats obtenus par E. Wolff, on voit qu'ils corroborent pleinement cette opinion. O. Kellner qui les a discutés, semble adopter une conclusion diamétralement opposée à la nôtre et que rien ne justifie selon nous. En effet, l'expérience de Wolff et d'O. Kellner comprend 5 périodes dans lesquelles le travail produit a été différent; elle a fourni les chiffres suivants :

| PÉRIODE n° | TRAVAIL effectué en kilogrammes. | POIDS du cheval. | PROTÉINE assimilée. | AZOTE correspondant à la protéine assimilée. | AZOTE dosé dans l'urine. | DIFFÉRENCE entre l'azote assimilé et l'azote rendu. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| I. | 475,000 | 534k,1 | 840gr,08 | 134gr,4 | 99gr,0 | 35gr,4 |
| II. | 950,000 | 529 ,5 | 802 ,04 | 128 ,3 | 109 ,3 | 19 ,0 |
| III. | 1,425,000 | 522 ,5 | 829 ,53 | 132 ,7 | 116 ,8 | 15 ,9 |
| IV. | 950,000 | 508 ,8 | 790 ,04 | 126 ,4 | 110 ,2 | 16 ,2 |
| V. | 475,000 | 518 ,0 | 808 ,89 | 129 ,4 | 98 ,3 | 31 ,1 |

Pendant les quatre premières périodes, il y a eu perte de poids du cheval, la cinquième a donné une augmentation. Voyons d'abord le mode de raisonnement de Kellner et s'il est vrai que l' « augmentation de la transformation de l'albumine s'est faite d'une manière très régulière et corrélative du travail effectué par l'animal ». Cette proposition est déduite de la comparaison du poids d'azote dosé dans les urines.

Or, dans la période I, l'azote dosé était de 99gr,0 et dans la période II de 109gr,3. La différence dans l'azote rendu dans ces deux périodes, soit 10gr,3, correspond donc à un travail de 475,000 kilogrammètres. La comparaison des périodes II et III donne une différence d'azote de 7gr,5 pour un même travail (475,000 kilogrammètres), les périodes III et IV, pour le même travail, donnent une différence de 6gr,6 d'azote, et les périodes IV et V, 11gr,9. Voilà donc 475,000 kilogrammètres auxquels correspondraient, suivant les périodes, des excès d'azote variant de 6gr,6 à 11gr,9, presque du simple au double : il n'y a donc pas proportionnalité. Et encore nous ne tenons compte que du travail extérieur utilisable en négligeant entièrement celui

de la marche qui, ici, a une grande importance, puisque, suivant les périodes, le chemin parcouru a varié du simple au triple.

Mais ces comparaisons nous paraissent entièrement défectueuses en raison des causes d'erreurs que nous avons signalées et qu'incontestablement nous retrouvons ici. L'observation de Kellner que les urines contenaient environ 17 p. 100 de leur azote total sous forme d'ammoniaque, nous autorise à penser qu'il a dû y avoir des pertes dans l'évaluation de l'azote : pertes qui motivent l'écart considérable constaté entre l'azote assimilé et l'azote rendu.

Comme le cheval a diminué de poids pendant les 4 premières périodes, il est impossible d'admettre qu'il y ait eu formation de muscles. L'azote de la protéine assimilée aurait dû par conséquent passer intégralement dans les urines, sauf la portion utilisée pour la formation de la corne et des poils, que l'on peut considérer comme constante. Si la théorie de Liebig était vraie, c'est donc cette quantité de protéine assimilée qui serait corrélative du travail, puisque, assimilée, elle aurait servi à reformer les muscles détruits par le travail, de sorte que l'on devrait trouver une proportionnalité entre elle et le travail produit. Or, cette proportionnalité n'existe pas ; bien plus, si l'on compare les périodes I et II, les périodes IV et V, on remarque qu'au travail maximum correspond le minimum de protéine assimilée, et réciproquement. Nos recherches nous ont amenés au même résultat. Quant à la période III, les 900 tours du manège et les 1,415,500 kilogrammètres auraient été effectués aux dépens des 829$^{gr}$,53 de protéine assimilée, alors que dans la première période, 840$^{gr}$,08 n'auraient fourni que 300 tours et 475,000 kilogrammètres, c'est-à-dire le tiers du travail. Ici encore, le maximum de protéine assimilée correspond au minimum de travail produit.

Nous pensons donc que les résultats obtenus par E. Wolff ont été mal interprétés et que ses expériences, confirmées par les nôtres sur certains points, prouvent que les matières azotées ne sont pas les éléments générateurs du travail mécanique.

Les substances protéiques nous paraissent avoir pour rôle principal d'entretenir dans son intégrité, l'instrument du travail qui, chez l'animal, est le muscle : elles réparent les pertes que celui-ci doit nécessairement subir par un exercice plus ou moins prolongé, s'oppo-

sant ainsi à la destruction de la substance même du muscle pendant le travail. S'il nous était permis d'établir une comparaison, nous dirions volontiers que, pendant le travail, les matières azotées nous semblent empêcher la disparition des muscles, comme l'huile à graisser ralentit l'usure dans la machine à vapeur par exemple.

Mais la source de la force musculaire réside, pour la plus grande part, sinon entièrement, dans la chaleur développée par la combustion des matières amylacées et grasses des aliments (carbone et hydrogène). Cette conclusion de toutes nos expériences se traduit, dans la pratique de l'alimentation du cheval de trait et de service, par un fait économique du plus haut intérêt : l'introduction, dans les rations de la cavalerie, d'une proportion de principes immédiats amylacés très supérieure à celle qu'on admettait il y a quelques années. Le rapport nutritif de la ration de travail doit être beaucoup plus voisin de $\frac{1}{6,5}$ que de $\frac{1}{4,5}$, qui était autrefois considéré comme très favorable à la production de la force chez l'animal de trait.

Dans les expériences qui forment la dernière partie du programme que nous a tracé le Conseil d'administration, nous étudions les coefficients de digestibilité de chacun des fourrages qui entrent dans la composition de la ration et la *valeur nutritive* de cette ration envisagée dans ses rapports avec la production du cheval dans les diverses saisons.

Les nombreux documents que nos études antérieures nous ont fournis nous permettront de mener à bien cette nouvelle série de recherches dont le résultat sera de fixer, sur des bases solides, les variations à introduire dans le régime de la cavalerie aux diverses époques de l'année.

---

# SUR LA PRÉPARATION

DE

# L'ACIDE CARBONIQUE, DE L'HYDROGÈNE

ET DE

# L'ACIDE SULFHYDRIQUE

PAR A. VIVIER

PRÉPARATEUR DU COURS DE CHIMIE ET DE PHYSIOLOGIE APPLIQUÉES A L'AGRICULTURE

Les appareils continus employés dans les laboratoires pour la préparation de l'acide carbonique, de l'hydrogène et de l'hydrogène sulfuré dérivent d'un type unique : l'appareil de M. H. Sainte-Claire-Deville.

Ils permettent d'obtenir rapidement une grande quantité de gaz, à une pression généralement faible ; mais leur débit diminue continuellement.

Le gazogène de M. Schützenberger, par exemple, donne des quantités énormes d'acide carbonique dans les premières minutes de sa mise en marche ; mais le dégagement diminue de plus en plus, pour devenir presque nul au bout de deux ou trois heures. Cela tient à ce que l'acide employé pour dégager le gaz arrive sur le carbonate de chaux par la partie inférieure ; il se sature promptement en donnant une solution de chlorure de calcium plus dense, de sorte qu'on est obligé de relever continuellement le réservoir à acide pour que l'attaque puisse continuer.

M. Cloëz a fait connaître, il y a quelque temps (*Bull. de la Soc. chim. de Paris,* 5 fév. 1885), les modifications qu'il a apportées à un

appareil de M. Tissandier, publié dans le journal *la Nature*. Les résultats auxquels il est arrivé constituent un notable progrès; mais la construction de son appareil est trop délicate, à cause de la présence de deux longs tubes au sein d'une colonne étroite de marbre, de sulfure de fer ou de grenaille de zinc. De plus, l'élimination des liquides épuisés se pratique au moyen d'un tube de sûreté plongeant jusqu'au fond de l'appareil, ce qui nécessite dans celui-ci une pression minima relativement considérable pour que cette élimination se produise ($80^{cm}$ d'eau environ). Enfin les quantités de gaz obtenues par M. Cloëz n'ont pas dépassé $3^{l},50$ à l'heure pour l'hydrogène, d'après les chiffres que l'auteur lui-même donne dans son mémoire.

J'ai utilisé pour la préparation des gaz, sous pression et à débit constants, les dispositions imaginées autrefois par M. Th. Schlœsing dans ses recherches classiques sur la dissolution des carbonates et sur la nitrification.

Dans les deux cas, il fallait obtenir pendant très longtemps un courant lent d'acide carbonique pur, à une pression très faible; de petites trompes à eau puisaient l'acide carbonique et l'envoyaient dans les appareils où il devait être utilisé.

La forme à laquelle je me suis arrêté permet d'obtenir très facilement, avec de petits appareils, de l'acide carbonique, de l'hydrogène et de l'acide sulfhydrique dans les conditions suivantes :

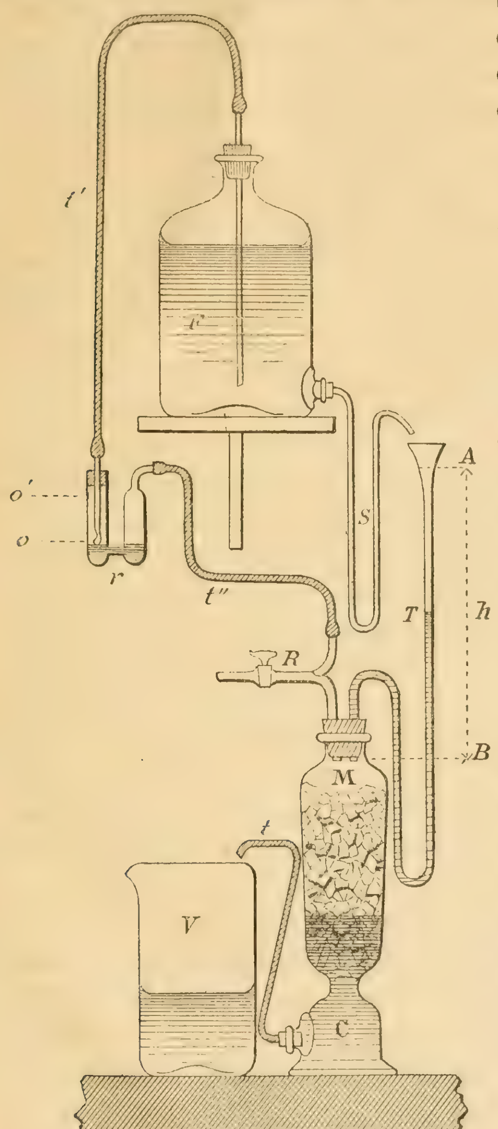
1° A des pressions variant de 1 centimètre à 1 mètre d'eau, ou plus, suivant les besoins;

2° Sous des débits de 1 à 60 litres à l'heure pour l'hydrogène, de 1 à 40 litres pour l'acide carbonique et de 1 à 15 litres pour l'acide sulfhydrique, tout en épuisant complètement les acides employés pour le dégagement. L'appareil présente, en outre, cet avantage qu'il permet de faire varier le débit et la pression du gaz indépendamment l'un de l'autre.

Il se compose d'un flacon de Mariotte F, d'une contenance de 5 à 10 litres, rempli d'acide chlorhydrique étendu, muni à sa tubulure inférieure d'un long tube capillaire S recourbé comme l'indique la figure.

Ce tube est destiné à donner un débit très lent d'acide. Il suffit de le faire tourner autour de sa partie horizontale de manière à le rele-

ver le long du flacon, pour arrêter l'écoulement de l'acide. On peut lui substituer avec avantage un tube à robinet court et terminé par un morceau de tube très capillaire ajusté au moyen d'un bout de tube de caoutchouc.




La vitesse d'écoulement du liquide est donnée par la formule de Poiseuille :

$$Q = K \frac{HD^4}{L}$$

qui peut s'appliquer ici d'une façon suffisamment approchée, et dans laquelle Q est la quantité de liquide écoulée dans l'unité de temps, K une constante, D le diamètre du tube capillaire, L sa longueur et H la pression à la surface du liquide.

Il est commode de faire varier à la fois L et D : on choisit quelques morceaux de tubes capillaires de longueurs et de diamètres convenables pour constituer une sorte d'échelle de débits pour la liqueur acide.

L'appareil ainsi monté est moins fragile et l'on peut en un instant changer la vitesse d'écoulement de l'acide et par conséquent celle de dégagement du gaz.

Le réservoir à acide est disposé sur une tablette au-dessus de la deuxième partie de l'appareil qui consiste en une grande éprouvette à dessécher les gaz, d'une hauteur de $40^{cm}$ environ, remplie de grenaille de zinc, de marbre ou de sulfure de fer en petits fragments; elle est munie d'un bon bouchon de liège paraffiné, ou de caoutchouc, portant un tube à robinet R pour la sortie du gaz, et un tube T servant à l'introduction de l'acide.

La distance verticale AB, entre les deux extrémités de ce tube, doit être un peu supérieure à la pression maxima, évaluée en eau, que l'on se propose d'obtenir dans l'appareil.

Enfin, la tubulure inférieure de l'éprouvette porte, au moyen d'un bouchon, un tube de plomb *t*, de petit diamètre, d'une longueur un peu moindre que la colonne d'eau représentant la pression maxima que l'on désire employer, et qui sert à l'écoulement du liquide épuisé.

On a soin de développer ce tube en hauteur ou de l'enrouler jusqu'à ce que la différence de niveau entre son extrémité supérieure et l'étranglement inférieur de l'éprouvette représente un peu moins que la pression maxima. De cette façon, on est certain que l'appareil ne se noiera pas, et en même temps que le gaz ne sortira jamais par le tube de plomb.

Les liquides épuisés coulent dans un vase V, ou dans un entonnoir muni d'un tube de caoutchouc qui les dirige dans un égout, si on ne veut pas les utiliser.

Pour mettre l'appareil en marche, on remplit d'eau l'éprouvette jusqu'au-dessus de l'étranglement inférieur, on la rebouche, puis on fait arriver l'acide en abaissant le tube S.

La courbure inférieure du tube T se remplit peu à peu, et le liquide monte jusqu'à ce que la différence de niveau entre la grande et la petite branche représente la somme des pressions que rencontre le gaz au delà du robinet R.

L'acide commence à couler dans l'éprouvette et le dégagement se produit; il en résulte quelques oscillations de la colonne acide qui se fixe rapidement au niveau correspondant à la pression convenable.

Le régime permanent est alors établi, et le dégagement continue avec la même vitesse tant qu'on ne change pas la pression.

Si on veut faire varier la pression dans l'appareil, il se présente deux cas : ou bien on l'augmente, et alors le dégagement s'arrête pendant un instant jusqu'à ce que l'acide ait atteint un niveau assez élevé dans le tube AB, puis recommence sous la pression existante ; ou bien on la diminue, et l'acide s'écoule un peu plus vite du tube T jusqu'à ce que le niveau se soit abaissé en AB au point convenable.

Dans les deux cas, il se produit quelques petites oscillations très rapides, et l'appareil reprend une marche régulière.

La durée de l'état variable est très courte, à cause du petit diamètre du tube S (1$^{cm}$ environ).

Il est utile de remarquer qu'ici, contrairement à ce qui se passe dans l'appareil de M. Cloëz, la pression du gaz dépend uniquement des pressions qu'il doit vaincre sur son passage (à condition que les sections des tubes et du robinet soient suffisantes), de même que la quantité de gaz produite dans un temps donné ne dépend que du débit de l'acide.

Il en résulte que l'on peut faire varier ces deux éléments indépendamment l'un de l'autre, et obtenir :

1° Un gaz à haute pression sous un faible débit ;

2° Un fort courant de gaz à basse pression ;

3° Un fort courant à haute pression ;

4° Un faible courant à basse pression ;

5° Tous les intermédiaires entre les quatre cas précédents.

On n'a pas à s'occuper de la pression, puisque c'est l'emploi que l'on fait du gaz produit qui la règle ; mais on peut agir sur la quantité, en faisant varier le débit de l'acide, et cela de deux manières.

La première consiste, un acide étant donné, à changer la pression dans le flacon F, la longueur de l'ajutage, ou son diamètre. L'emploi d'une série d'ajutages choisis permet d'obtenir toutes les vitesses de débit désirables, sans qu'on ait besoin d'agir sur la pression dans le flacon F.

La deuxième manière consiste à changer la concentration de l'acide en employant un appareil donné. J'emploie habituellement de l'acide chlorhydrique à 10° ou 11° B$^{e}$ contenant environ 4 équivalents (146 gr.) d'acide chlorhydrique HCl par litre.

Si le flacon F est réglé de manière à débiter 1 litre à l'heure,

l'appareil produira 4 équivalents d'acide carbonique, soit 44 litres environ dans le même temps.

En étendant l'acide de son volume d'eau sans changer l'appareil, on n'obtiendra plus que 22 litres à l'heure, etc. J'ai vérifié le fait pour l'acide à 1 équivalent de HCl : un litre de cet acide dégage 11 litres d'acide carbonique.

Il ne faudrait pas diluer outre mesure l'acide; car il n'attaquerait plus suffisamment le marbre. Dans les cas où l'on désire de très faibles débits, il vaut mieux employer en même temps un tube long de très petit diamètre et un acide peu concentré.

En général, il est bon de combiner ces deux manières de régler l'écoulement : on assure ainsi une marche plus régulière.

L'épuisement de l'acide se fait d'une façon à peu près complète, même avec des colonnes de marbre, de zinc ou de sulfure de fer de peu de longueur.

On en aura la preuve dans le tableau suivant qui résume quelques expériences. Le débit était estimé en recueillant les gaz sur l'eau dans des cloches graduées.

Pour l'acide sulfhydrique, on employait une cuve dont l'eau était saturée à l'avance de ce gaz.

J'ai fait en outre, comme vérification, une détermination par pesée en absorbant H S desséché au moyen de ponce imprégnée de sulfate de cuivre anhydre. L'acide chlorhydrique employé contenait environ 144 gr. HCl par litre.

| NATURE du gaz. | HAUTEUR de la colonne. | DIAMÈTRE de la colonne. | DÉBITS de l'acide. | ACIDITÉ des résidus. | DÉBITS du gaz. | PRESSION en eau. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm. | cm. | $cm^3$. | par litre. | litres. | cm. |
| Acide carbonique . . | 30 | 7 | 800 | 0g,06HCl | 35 | 20 |
| Hydrogène. . . . . | 20 | 6 | 1.420 | 0 ,73 | 61 | 40 |
| Hydrogène sulfuré. . | 17 | 5 | 500 | 1 ,09 | 15 | 10 |

Je me suis assuré d'ailleurs que les débits restent constants tant qu'il y a dans l'éprouvette une quantité suffisante de matière solide.

Ces quelques exemples suffisent pour montrer tout le parti que l'on peut tirer de ces appareils.

Pour terminer, je signalerai une disposition qui permet d'arrêter le fonctionnement de tout l'appareil par la fermeture du robinet R.

Elle consiste en un système de deux vases communicants contenant du mercure, et dont l'un est relié par le tube $t''$ au tube à robinet R.

L'autre est fermé par un bouchon dans lequel passe à frottement un petit tube de verre relié par un tube de caoutchouc $t'$ au tube du flacon F.

En $o'$ est pratiqué un petit trou dans le tube large pour l'écoulement du gaz.

Quand on ferme le robinet R, le gaz est refoulé dans le système $r$ et chasse le mercure dans la branche de gauche : celui-ci vient obturer l'extrémité $o$ de la prise d'air du flacon F et l'écoulement de l'acide s'arrête. L'excès de gaz traverse le mercure et s'échappe par le trou $o'$. Cette disposition est surtout utile quand le tube AB est très grand et quand le flacon F est hors de portée de la main.

---

CONSEIL SUPÉRIEUR D'AGRICULTURE DE BELGIQUE
(Session de 1885)

# RAPPORT

SUR LA

# QUESTION DES ENGRAIS

PRÉSENTÉ PAR

M. A. PETERMANN

DIRECTEUR DE LA STATION AGRICOLE EXPÉRIMENTALE DE L'ÉTAT À GEMBLOUX

Messieurs,

La question soumise à l'examen de la commission des engrais est ainsi posée :

*Convient-il de prendre des mesures pour vulgariser l'emploi des engrais complémentaires et pour prévenir les falsifications? Convient-il de réclamer l'intervention de l'État pour favoriser, par des primes, l'établissement de citernes à purin?*

Afin de mettre de l'ordre dans la discussion et pour assurer la clarté du rapport, la commission a été d'avis de scinder la première partie de la question. Elle a donc examiné successivement les points suivants :

*a*) Convient-il de prendre des mesures pour vulgariser l'emploi des engrais complémentaires?

*b*) Convient-il de prendre des mesures pour prévenir les falsifications?

*c*) Convient-il de réclamer l'intervention de l'État pour favoriser, par des primes, l'établissement de citernes à purin?

*a) Convient-il de prendre des mesures pour vulgariser l'emploi des engrais complémentaires?*

L'emploi rationnel des engrais complémentaires présente des avantages considérables. Les données fournies par les cultures expérimentales et les résultats obtenus par la pratique depuis une trentaine d'années le prouvent d'une manière péremptoire. Aussi l'importation et la production d'engrais complémentaires ont-elles déjà pris une grande extension. La Belgique à elle seule en consomme annuellement 174 millions de kilogrammes. Cette évaluation, qui, naturellement, ne peut être exacte qu'à quelques millions près, résulte des chiffres suivants :

Importation d'engrais, principalement :

| | KILOGRAMMES. |
|---|---|
| Guano, nitrate de soude et sels de potasse | 70,474,000 |
| Production de superphosphates de chaux | 39,000,000 |
| — de sels ammoniacaux | 4,000,000 |
| — de phosphate d'os, poudre d'os, noir animal, poudre de sang, de viande, de cornes et de cuir | 37,000,000 |
| Déchets de l'industrie lainière | 35,000,000 |
| Tourteaux employés comme engrais | 20,000,000 |
| Matières diverses | 10,000,000 |
| | 215,475,000 |
| A déduire l'exportation | 41,537,000 |
| Reste | 173,938,000 |

soit un total de 174 millions de kilogrammes.

La consommation réelle d'engrais complémentaires dépasse certainement ce chiffre déjà considérable, car on utilise un certain nombre de produits très appréciés comme matières fertilisantes et dont la quantité employée se soustrait à toute évaluation.

Si on répartit la consommation totale en engrais auxiliaires sur la surface cultivée, qui est de 2,100,000 hectares, on arrive à fixer l'achat moyen de matières fertilisantes à 83 kilogrammes par hectare. En tenant ensuite compte que dans beaucoup de contrées du pays, surtout dans le Hainaut, dans certaines parties des provinces de Brabant, de Namur, de Liège et des Flandres, on emploie fréquemment un millier de kilogrammes, et au delà, d'engrais artificiels,

que la dose à laquelle on répand les déchets de laine, qui constituent à eux seuls plus de la moitié de la consommation en engrais azotés, est de 2,000 à 3,000 kilogrammes à l'hectare, on voit combien doit être immense l'étendue des champs qui n'ont jamais reçu, sous forme d'engrais auxiliaires, un atome des principaux éléments nutritifs des végétaux, combien doit être grand le nombre des cultivateurs qui ne se préoccupent pas de la restitution de l'azote, de l'acide phosphorique et de la potasse exportés de leur ferme sous forme de grains, de plantes industrielles, de viande et de lait. En se basant sur les chiffres précédents, on peut affirmer qu'un hectare à peine sur vingt-cinq est fumé à l'aide de matières fertilisantes du commerce.

La culture intensive, la production de plus en plus grande de plantes industrielles, le développement de la culture maraîchère, l'extension à donner à l'élevage du bétail, par conséquent à la production de fourrages à hauts rendements, tous ces remèdes préconisés avec raison pour améliorer la situation actuelle de l'agriculture, ne sont réalisables qu'à l'aide d'une application raisonnée des engrais concentrés du commerce ; il y a donc utilité incontestable à favoriser par tous les moyens possibles l'extension de l'emploi de ces auxiliaires puissants du progrès agricole.

Il ne suffit pas de fumer *intensivement*, il faut fumer *rationnellement*. Cette condition est indispensable pour que l'argent consacré à l'achat d'engrais complémentaires ne soit pas seulement remboursé par une augmentation de récolte, mais produise un bénéfice. Malheureusement, l'instruction insuffisante de beaucoup de consommateurs d'engrais est cause qu'ils les choisissent ou les emploient mal. La commission croit même pouvoir affirmer, sans s'exposer à être taxée d'exagération ou de pessimisme, que la situation pénible dans laquelle se trouvent beaucoup de cultivateurs provient en grande partie des dépenses considérables faites pour l'achat d'engrais auxiliaires choisis ou appliqués d'une manière irrationnelle.

L'acquisition de matières fertilisantes non appropriées aux conditions spéciales d'une culture donnée ; l'achat d'engrais complets là où il n'y avait utilité à rendre à la terre que l'un ou l'autre des éléments manquants ; l'abus d'engrais exclusivement azotés, tels que le nitrate de soude, le sulfate d'ammoniaque, les laines, produisant ici

la verse des céréales, là des betteraves pauvres en sucre et d'une maturation tardive ; l'application d'engrais phosphatés et potassiques dans des terres naturellement riches en matières minérales, où une faible fumure exclusivement azotée aurait suffi pour les porter à leur maximum de production ; la répartition en couverture de certains engrais qui ne produisent la totalité de leurs effets que lorsqu'ils ont été enterrés avant les semailles ; l'achat de matières fertilisantes à un prix beaucoup au-dessus de leur valeur intrinsèque, abstraction faite pour le moment des falsifications ; toutes ces erreurs, — et nous n'en citons que quelques-unes, — fréquemment commises par des cultivateurs sans connaissances spéciales dans la matière, sont des causes de pertes sensibles qui grèvent lourdement le prix de revient des produits de la terre. Et ce qui est pis encore, c'est que ces insuccès font naître dans l'esprit de ces cultivateurs des doutes sur la vérité des principes scientifiques sur lesquels se base l'emploi des engrais artificiels. On trouve que les engrais n'ont pas du tout agi, ou au moins que l'augmentation de récolte produite est loin de compenser le surcroît de dépenses faites, et plus loin encore de donner un bénéfice. Les désillusions sont grandes. Mais au lieu de chercher la cause de l'insuccès dans sa propre ignorance, au lieu de tirer profit de la leçon si chèrement payée, on trouve plus facile de retourner à l'ancien régime et l'on devient réfractaire au progrès.

Cette considération aussi vient puissamment à l'appui de la conclusion à laquelle nous étions arrivé plus haut, que l'on peut rendre à l'agriculture des services réels et immédiats en favorisant l'extension de l'emploi des engrais complémentaires basé sur l'application raisonnée des principes scientifiques.

Quelles seraient les mesures à prendre à cet égard?

La commission, après avoir longuement discuté les divers moyens proposés par ses membres et en se ralliant à quelques vœux émis par la commission provinciale du Brabant, s'est arrêtée à proposer les mesures suivantes, les unes d'ordre matériel, les autres d'ordre intellectuel :

I. — Augmenter le nombre des laboratoires agricoles de l'État, de façon à ce qu'il y en ait un par province. Ces établissements ont pour mission, non seulement de faire les analyses de matières ferti-

lisantes, mais aussi de donner aux cultivateurs de la région où ils fonctionnent des conseils gratuits sur leur emploi rationnel.

II. — Augmenter le nombre des conférences données dans les campagnes par des personnes compétentes, d'après un programme méthodique et conformément à un plan d'ensemble arrêté par le Gouvernement.

III. — Instituer des professeurs nomades, tels qu'il en existe en France (professeur départemental d'agriculture) et en Allemagne (*Wanderlehrer*), chargés de donner dans les centres agricoles une suite de leçons pratiques sur la question des engrais et sur les matières intéressant spécialement la production agricole locale.

IV. — Distribution par l'État, les provinces et les sociétés agricoles, de publications traitant du choix, de la composition, de la falsification et de la manière d'employer les engrais commerciaux.

Éventuellement mettre au concours la rédaction d'une brochure populaire sur la question des engrais.

V. — Réduire d'une manière sensible le tarif actuellement en vigueur pour le transport des matières fertilisantes de toute nature.

VI. — Conseiller aux cultivateurs de se constituer en sociétés coopératives pour l'achat des engrais.

VII. — Déposer au siège des sections agricoles et dans les écoles des communes rurales des collections rationnellement faites de types de matières fertilisantes du commerce.

VIII. — Création par le Gouvernement ou par les sociétés agricoles de récompenses spéciales en faveur des personnes qui auraient établi de petits champs d'expériences, organisés, non pas dans un but de recherches, mais en vue de démontrer et propager les faits acquis à la science agronomique.

IX. — Création d'un prix spécial (triennal ou quinquennal) pour récompenser des découvertes scientifiques ou industrielles qui auraient pour résultat d'ouvrir de nouvelles sources de matières fertilisantes ou de réduire sensiblement le prix des engrais artificiels connus.

*b) Convient-il de prendre des mesures pour prévenir les falsifications?*

Une cause qui nuit considérablement à l'extension de l'emploi des

engrais commerciaux consiste dans leur falsification, qui s'opère sur une vaste échelle. Quoique cette fraude ait été combattue par les stations agricoles et par tous les moyens dont elles disposent, le mal n'est pas déraciné. Il a seulement changé de forme. Il est incontestable, et tous les chimistes sont, je pense, de notre avis, que les falsifications grossières deviennent de moins en moins nombreuses. Les fraudeurs ont changé leurs procédés. La fabrication est devenue un art véritable, dirais-je, se perfectionnant avec les progrès de la science, tirant parti des nouvelles découvertes, modifiant la manière d'opérer avec le perfectionnement des méthodes dont disposent la chimie analytique et la microscopie pour dévoiler les manœuvres frauduleuses.

Les stations agricoles auxquelles on a confié la défense des intérêts de l'agriculture, sont naturellement impuissantes pour prévenir les fraudes, mais elles fournissent aux consommateurs d'engrais les moyens de s'en garantir, ou bien, une fois commises, de les reconnaître. La fraude dûment constatée, c'est à la partie lésée de déposer une plainte, c'est dans son intérêt particulier comme dans l'intérêt général.

Le chimiste ayant dévoilé la fraude ne peut ordinairement se faire le dénonciateur auprès du procureur du roi. Il ne connaît qu'exceptionnellement le nom du vendeur et, sauf les cas où il s'agit d'altérations frauduleuses par l'introduction de matières étrangères, il lui manque le plus souvent les éléments nécessaires pour apprécier s'il y a tromperie ou non, ignorant les conditions de vente. C'est donc évidemment à la personne dont la bonne foi a été surprise qu'il appartient de faire réparer le tort qui lui a été infligé et de venger la conscience publique.

Mais ici on rencontre des difficultés. Fréquemment les personnes trompées s'abstiennent de poursuites par indolence. C'est ainsi que dans un cas de guano honteusement falsifié, le cultivateur qui en avait adressé un échantillon à la station agricole de Gembloux pour l'analyser, a refusé d'indiquer la provenance de ce produit, en disant : « Je ne veux avoir de démêlés avec personne ni faire tort à qui que ce soit et je ne puis vous indiquer la maison qui m'a vendu cette marchandise. » Souvent on rencontre cette objection : « Je ne ga-

gnerai pas mon procès, la loi est incomplète et insuffisante pour punir la falsification des engrais. » A force d'entendre souvent ce propos, le public finit par y croire. Plus fréquents encore sont les cas où l'acheteur, tout en étant disposé d'abord à demander réparation par la justice, s'abstient sur les conseils de personnes compétentes. Ayant, par ignorance ou par excès de confiance, négligé de prendre, lors de la conclusion du marché ou lors de la levée des échantillons, les précautions les plus élémentaires, il reconnaît, trop tard, qu'il lui est impossible de fournir les preuves nécessaires pour établir avec certitude la culpabilité du fournisseur qui a abusé de sa bonne foi.

Il résulte de ce que nous venons d'exposer que l'on ne poursuit pas assez souvent et que, par conséquent, un bon nombre de falsifications d'engrais restent sans châtiment.

En présence de cette situation fâcheuse, des voix nombreuses se sont élevées depuis longtemps déjà pour réclamer des pouvoirs publics l'établissement de mesures propres à y mettre un terme. On demande que les lois existantes soient changées, que les tribunaux soient armés d'une loi spéciale pour réprimer la fraude dans le commerce des engrais. De nouveau, le Conseil supérieur d'agriculture est saisi de cette grave question, touchant à l'intérêt vital de l'agriculture.

La commission, à l'avis de laquelle le troisième point du questionnaire de M. le ministre de l'agriculture a été soumis, s'est avant tout posé la question suivante : « Les articles du Code pénal traitant de la tromperie suffisent-ils pour punir les falsifications en matière d'engrais ? » La loi étant reconnue incomplète ou insuffisante ou trop indulgente, il y aurait naturellement lieu, pour le Conseil supérieur d'agriculture, de réclamer l'intervention du ministre auprès de la Législature pour obtenir la promulgation d'une loi spéciale, quels que puissent être d'ailleurs les inconvénients des lois spéciales. Mais si, au contraire, la commission était amenée par un examen approfondi à reconnaître que la loi arme le juge d'une manière suffisante pour punir les fraudes dont tant de cultivateurs ont à souffrir, il y aurait lieu pour elle de rechercher les causes auxquelles, malgré l'existence d'une bonne loi, il faut attribuer que les condamnations

sont si peu nombreuses. Ces causes une fois établies il faudrait rechercher les moyens de les combattre.

Le Code pénal contient les articles suivants :

« Art. 498. Sera puni d'un emprisonnement d'un mois à un an et d'une amende de cinquante à mille francs ou d'une de ces peines seulement, celui qui aura trompé l'acheteur :

« Sur l'identité de la chose vendue, en livrant frauduleusement une chose autre que l'objet déterminé sur lequel a porté la transaction ;

« Sur la nature ou l'origine de la chose vendue, en vendant ou en livrant une chose semblable en apparence à celle qu'il a achetée ou qu'il a cru acheter. »

« Art. 499. Seront condamnés à un emprisonnement de huit jours à un an et à une amende de vingt-six francs à mille francs, ou à une de ces peines seulement, ceux qui, par des manœuvres frauduleuses, auront trompé l'acheteur sur la quantité des choses vendues. »

La commission a attentivement passé en revue toutes les fraudes qui peuvent se commettre dans le commerce des engrais. Elle a tiré profit des registres des laboratoires agricoles où sont consignées plus de 25,000 analyses de matières fertilisantes provenant de toutes les parties du pays et renfermant des spécimens instructifs de tout ce que l'esprit le plus ingénieux et le plus dénué de sens moral peut imaginer en fait de tromperies et de manœuvres déloyales.

Toutes les pratiques frauduleuses rentrent dans l'un ou l'autre des cas suivants :

1° Manque de poids ;

2° Introduction de matières étrangères inertes ou ce qui est pis encore, de matières nuisibles ;

3° Fourniture d'une marchandise autre que celle sur laquelle a porté la transaction ;

4° Fourniture d'une marchandise d'une valeur moindre que celle sur laquelle a porté la transaction ;

5° Fourniture sous le nom « d'engrais » d'une matière qui, d'après les données de la science agronomique, ne possède point de propriétés fertilisantes.

La loi est-elle insuffisante pour punir les fraudes se rattachant à l'un ou à l'autre des cas précités ? Nullement. La *nature* l'*identité*,

l'*origine* d'une chose, lui assignent un certain nombre de caractères dont dépend sa valeur. Cette valeur est réduite et, par conséquent, l'acheteur est lésé dans ses intérêts, si d'une manière ou de l'autre on ôte, altère ou diminue les propriétés sur lesquelles elle repose. Le juge clairvoyant ne rencontrera aucune difficulté pour découvrir, dans chaque cas de falsification d'engrais, une fraude, soit sur la *nature,* l'*origine* ou sur l'*identité* de la matière fertilisante qui a été l'objet de la transaction.

Mais serrons la question de plus près. Examinons si les sophistications les plus fréquentes n'entrent pas dans le cadre des fraudes sur la *nature,* l'*origine* ou l'*identité* de la chose vendue. La falsification du guano par l'introduction de terre, de sable, de plâtre, de phosphates minéraux; le mélange de sel de cuisine ou de kaïnite, dépourvus d'azote, au nitrate de soude, dont la valeur comme engrais dépend du titre en cet élément; l'introduction de plâtre, ne renfermant point de potasse, dans le chlorure ou le sulfate de potassium, dont l'effet est en rapport avec la richesse en ce principe; l'addition de phosphates minéraux bruts dont l'acide phosphorique n'est pas immédiatement assimilable au phosphate précipité qui, par une préparation chimique, est devenu une matière fertilisante d'une valeur hautement appréciée; toutes ces manœuvres frauduleuses ont pour résultat une altération profonde de la *nature,* par conséquent des propriétés et de la valeur d'un produit. Et la loi serait impuissante à frapper, malgré que le Code pénal prévoit la fraude sur la *nature* de la chose vendue?

Un cultivateur a conclu un marché pour acquérir un lot de guano. L'analyse fait découvrir que l'engrais livré n'a du guano que le nom et qu'il est constitué d'un mélange de sulfate d'ammoniaque et de superphosphate légèrement coloré en jaune ou en brun par l'introduction de matières organiques dans l'acide sulfurique qui a servi à attaquer le phosphate. N'est-ce pas là une fraude manifeste sur l'*identité* et sur l'*origine* du produit sur lequel a porté la transaction? Le vendeur n'a-t-il pas trompé l'acheteur aussi sur la *nature* de la chose vendue, en lui livrant une chose semblable en apparence à celle qu'il a achetée? L'article 498 du Code s'applique parfaitement à cette tromperie si fréquemment mise en œuvre.

Attiré par les plus habiles réclames, un fermier achète sous le nom d'engrais, sans spécification du nom ou de la composition, une matière qui, à l'analyse, se montre composée de tout, sauf d'éléments nutritifs des végétaux. Aucune convention spéciale n'ayant été conclue entre les parties intéressées, il n'y a donc tromperie ni sur l'*origine*, ni sur l'*identité* du produit. Mais faut-il pour cela que la personne dupée subisse en silence la fraude dont elle a été victime? Nous ne le pensons pas. Une matière qui ne renferme point de principes fertilisants et cela en dose suffisante pour produire un effet, n'est de sa nature point un « engrais », ou, c'est un « engrais » que le fermier « a acheté ou a cru acheter ». Si, d'après l'appréciation de l'expert, la marchandise livrée ne peut être considérée comme un engrais, le juge, dans le cas de lésion que nous venons d'exposer, est aussi certainement à même d'appliquer la loi sur la fraude.

D'ailleurs, pour ce cas, comme pour tous les cas de tromperie, les plus fréquents peut-être, où le marchand déloyal, profitant d'un manque de convention spéciale, de l'omission de garantie de titre, fournit une marchandise d'une richesse beaucoup en dessous de celle que l'acheteur était en droit d'attendre d'après le prix qu'il a payé, le juge n'a-t-il pas le moyen de faire établir par expert si, dans les conditions où s'est fait le marché et d'après les usages du commerce des engrais, la marchandise doit être considérée comme *loyale?*

La commission, après mûr examen, est donc d'avis que les articles du Code pénal traitant de la fraude en général sont parfaitement applicables à la falsification des engrais. Qu'une interprétation juste et intelligente de cette loi suffit pour protéger les intérêts des consommateurs et pour leur donner appui dans leurs réclamations. La nécessité d'une loi spéciale ne lui paraît nullement démontrée. Les lois spéciales ont, d'ailleurs, ce grave inconvénient de n'être efficaces que pour autant qu'elles mentionnent tous les cas de fraude qu'elles doivent réprimer. Tandis que la sagesse et la clairvoyance du juge peuvent faire rentrer dans le droit commun toutes les tentatives de fraude ou toutes les tromperies commises, elles ne peuvent, en appliquant une loi d'exception, que punir les délits spécialement mentionnés dans cette loi.

C'est précisément ce qui est arrivé en France. L'opinion publique,

justement émue par les proportions inouïes qu'avait prises la falsification des engrais, « par les fortunes scandaleuses qui n'ont pas eu d'autres bases que l'exploitation des besoins et de la crédulité des cultivateurs », avait obtenu la satisfaction de voir adopter une loi spéciale sur la matière : cette loi porte la date du 27 juillet 1867. Après 17 ans qu'elle fonctionne, M. Méline, ministre de l'agriculture en France, doit reconnaître, dans l'exposé des motifs qui accompagne un nouveau projet de loi concernant la répression des fraudes dans le commerce des engrais, « que les mesures édictées par la Législature de 1867 étaient restées impuissantes ». Des modifications y ont été apportées. Mais la nouvelle loi aura le même sort que la précédente. Elle contient un article déplorable concernant la garantie de composition à donner par le vendeur. N'adoptant pas pour l'indication des principes fertilisants la dénomination qui a été proposée par une commission comptant dans son sein les chimistes français les plus illustres, le projet de loi ouvre une large porte de sauvetage aux fraudeurs. Les protestations ne manquent d'ailleurs déjà pas et l'on demande purement et simplement de faire rentrer le commerce des engrais dans le droit commun régi par l'article 423 du Code pénal français.

La promulgation d'une loi spéciale sur la falsification des engrais présenterait encore cet inconvénient, qu'elle devrait être immédiatement suivie d'une loi spéciale sur les fraudes dans le commerce des semences et des matières alimentaires pour le bétail, car ici les sophistications se pratiquent sur un pied au moins aussi important et sont dans leurs conséquences beaucoup plus funestes que la fraude dans le commerce des matières fertilisantes. Mais une fois engagé, où s'arrêterait-on dans cette voie?

Les précédents ne manquent d'ailleurs pas pour prouver que la loi actuellement en vigueur est suffisante pour donner satisfaction à la morale publique et punir ceux qui trompent le premier producteur de la nation. Quoique la commission ait son opinion parfaitement arrêtée, elle s'empresse néanmoins de proposer au Conseil supérieur d'agriculture de demander à M. le ministre de l'agriculture d'intervenir auprès de son collègue de la justice pour faire une enquête sur les condamnations pour falsifications d'engrais, sur les acquittements

et sur les motifs qui les ont amenés, afin de constater si ceux-ci ont eu pour cause l'insuffisance de la loi ou le manque de précautions de la part de l'acheteur.

Mais en attendant le résultat de cette enquête, qui ne pourra manquer de fournir les renseignements les plus intéressants sous tous les rapports et qui permettra de trancher la question d'une manière définitive, il y a certaines mesures à prendre en faveur de la moralité du commerce des engrais.

La continuation de la fraude dans le commerce des engrais est évidemment due en grande partie à ce qu'on ne les fait pas analyser assez souvent. C'est sur ce manque de précaution de la part du consommateur que spécule le petit détaillant chez qui se commet principalement l'altération frauduleuse des matières fertilisantes. Pourquoi ne parle-t-on pas de fraude dans le commerce des sucres? Tout simplement parce qu'il est de règle depuis longtemps de faire vérifier par le chimiste chaque lot de sucre. Et s'il est vrai qu'il est matériellement impossible d'analyser chaque sac d'engrais que l'agriculture belge consomme, pourquoi les petits consommateurs de quelques centaines de kilogrammes de guano ou d'engrais chimiques ne s'associent-ils pas pour acheter ensemble un wagon? Les sociétés coopératives rendraient d'immenses services sous ce rapport et l'augmentation du nombre des laboratoires agricoles devrait faciliter par tous les moyens possibles l'exécution rapide, soigneuse et peu coûteuse des analyses. Les fabricants d'engrais honnêtes étant d'ailleurs les premiers intéressés à voir disparaître la fraude, ont sur leur propre demande placé leurs produits sous le contrôle des chimistes, en supportant même les frais de cette vérification. Mais au lieu de s'adresser à des maisons connues, comme on le lui a déjà si souvent conseillé, le cultivateur crédule se laisse séduire par les promesses de certains courtiers sans moralité, qui ne présentent aucune espèce de garantie.

Nous avons déjà fait voir plus haut quelles sont les conséquences d'un manque de prévoyance, causé par l'ignorance, dont font preuve beaucoup de cultivateurs dans l'acquisition et dans la réception des engrais. Il est évident que si l'on ne s'est pas entouré de toutes les précautions possibles lors de la levée des échantillons, ou, ce qui

arrive encore plus souvent, si l'on n'en a pas pris du tout et que l'on remarque seulement la tromperie au moment de la récolte, il est trop tard de se plaindre sur ses espérances déçues, aucune législation du monde ne peut venir en aide au malheureux qui a été la victime d'un plus malin que lui. Sous ce rapport, la plus grande publicité à donner, par voie administrative ou par les organes des sociétés d'agriculture, aux fraudes dévoilées, aux précautions à prendre pour les prévenir, est d'une utilité manifeste. La commission est d'avis qu'il peut être fait beaucoup dans ce sens.

Elle pense aussi que l'autorité judiciaire pourrait intervenir d'une manière plus directe dans la répression des tromperies qui se commettent dans le commerce des engrais. Le procureur du roi peut poursuivre d'office. Il devrait le faire chaque fois qu'une manœuvre frauduleuse lui est signalée, la personne trompée négligeât-elle de réclamer la réparation civile à laquelle elle a droit et il devrait toujours, nous semble-t-il, mettre l'action publique en mouvement quand une condamnation civile à charge d'un vendeur d'engrais révèle une tromperie punissable.

Les mesures que nous avons proposées en vue de propager l'emploi des engrais complémentaires auront pour résultat final de développer et de répandre des connaissances spéciales sur la nature et la composition des matières fertilisantes et sur les falsifications qu'elles peuvent subir. La diffusion de ces connaissances contribuera largement à diminuer les cas de fraude. Il devient facile de se défendre contre un ennemi quand on le connaît. Les fermiers instruits ne sont pas rares qui achètent depuis de longues années des matières fertilisantes pour des sommes considérables sans avoir jamais été trompés. L'ancien adage est toujours vrai : « N'est trompé que celui qui veut l'être. »

La commission s'est arrêtée aux conclusions suivantes :

« Le Conseil supérieur d'agriculture propose à M. le ministre de l'agriculture d'intervenir auprès de son collègue de la justice pour ordonner une enquête sur les poursuites exercées pour falsifications d'engrais, sur les acquittements intervenus et sur leurs motifs, afin de constater s'ils sont dus à une insuffisance de la loi ou à un manque de précautions de la part des acheteurs. »

En attendant le résultat de l'enquête, le Conseil supérieur d'agriculture propose au Gouvernement les mesures suivantes pour combattre la falsification des engrais :

I. — Recommander à l'autorité judiciaire d'appliquer avec sévérité les articles 498 et 499 du Code pénal à la répression des fraudes ou tentatives de fraudes commises dans le commerce des engrais et de poursuivre d'office toute manœuvre frauduleuse.

II. — Recommander aux officiers du ministère public et de la police judiciaire et aux bourgmestres des communes rurales, d'informer le procureur du roi de toute fraude ou tentative de fraude dûment constatée, venue à leur connaissance.

III. — Faciliter par tous les moyens possibles la pratique des analyses d'engrais et le contrôle tel qu'il est organisé par les stations et laboratoires agricoles de l'État.

IV. — Recommander par voie administrative aux cultivateurs de prendre lors d'un achat d'engrais les précautions suivantes :

*a*) Demander au vendeur une facture portant la désignation du nom et de la nature de l'engrais, et une garantie du titre en principes fertilisants exprimée dans les termes suivants :

Azote ammoniacal; azote nitrique; azote organique; acide phosphorique anhydre soluble dans l'eau; acide phosphorique anhydre soluble dans le citrate d'ammoniaque alcalin; acide phosphorique anhydre soluble dans l'acide; potasse anhydre soluble dans l'eau.

*b*) Prélever, au moment de prendre livraison de l'engrais, en présence du vendeur ou de deux témoins honorables, un échantillon moyen, en remplir deux flacons en verre, boucher ces flacons à la cire et y apposer soit les cachets de l'acheteur et du vendeur, soit les cachets des témoins; constater la levée des échantillons par une déclaration portant la signature des intervenants; envoyer un des échantillons à un chimiste public pour être analysé et conserver l'autre pour servir en cas de contestation.

c) *Convient-il de réclamer l'intervention de l'État pour favoriser par des primes l'établissement de citernes à purin?*

La commission, tout en ayant proposé une série de mesures pour favoriser l'extension de l'emploi des engrais complémentaires, reconnaît hautement l'utilité des matières fertilisantes produites dans la

ferme. Il est évident qu'avant de remuer et de fouiller les entrailles de la terre pour y puiser les phosphates, avant d'affréter des navires pour aller chercher sur les côtes de l'Amérique le guano et le nitrate de soude, ou au pôle Nord les engrais préparés à l'aide de poissons desséchés, il convient de recueillir, de conserver et d'utiliser d'une manière rationnelle les principes fertilisants contenus dans les excréments des animaux ou dans les déchets du ménage et de la ferme. L'agriculture y est aussi intéressée que l'hygiène publique. Tous les efforts faits pour améliorer les moyens de recueillir et de conserver les engrais naturels par une bonne appropriation des étables, par l'établissement de plates-formes couvertes, de fosses à purin étanches et munies de pompes disposées pour arroser facilement et sans perte le tas de fumier, tous les soins apportés à la préparation de composts à l'aide des nombreux déchets de toute nature produits journellement dans la maison, la ferme, les établissements industriels et sur la voie publique, enfin les recherches faites dans le but de découvrir de nouvelles matières aptes à servir de litière économique et douées à un haut degré du pouvoir absorbant, toutes ces initiatives méritent d'être encouragées dans l'intérêt du progrès agricole. L'ignorance ou la négligence sous ce rapport font perdre à l'agriculture des sommes considérables. Chaque mètre cube de purin qui s'écoule du tas de fumier et qui n'est pas recueilli, constitue une perte sèche de plus de cinq francs.

L'intervention de l'État dans une question comme celle qui nous occupe doit avant tout être dirigée vers l'extension des connaissances agronomiques, vers le développement de l'instruction agricole.

Comme il ne peut entrer dans l'esprit de personne de réclamer au Gouvernement, au nom de l'agriculture souffrante, de fournir gratuitement les engrais chimiques au cultivateur ou de se charger de battre ses récoltes, on ne peut avec plus de raison demander que l'État construise à ses frais, dans des fermes de particuliers, des fosses à purin ou des plates-formes à fumier.

Ce n'est même pas le rôle des sociétés d'agriculture.

Cependant, comme celles-ci ont inscrit sur leur drapeau le progrès agricole et que la question que nous examinons y est intimement liée, que les soins intelligents à donner à ce bon vieux fumier tant

calomnié sont dans certaines parties du pays absolument ignorés ou délaissés, les sociétés agricoles peuvent rendre des services sérieux en inscrivant dans le programme de leurs concours, expositions et concours de fermes, des primes spéciales pour les installations ou procédés les plus convenables pour recueillir et conserver les excréments et autres déchets renfermant des principes utiles à la végétation. La construction de citernes à purin y figurerait naturellement au premier rang. Ces primes, qui devraient être surtout des primes en argent, seraient certainement un stimulant actif pour la réalisation si longtemps attendue de ce desideratum : *qu'il n'y ait plus de ferme sans citerne à purin*. D'ailleurs, en parcourant les rapports faits sur les concours de fermes organisés déjà dans plusieurs provinces, on remarque que les jurys ont donné à ce point toute l'attention qu'il mérite.

Les sociétés agricoles ne disposant que des faibles cotisations de leurs membres, les expositions et les concours ne sont possibles qu'à l'aide de subsides du Gouvernement. Il serait vivement à désirer que celui-ci augmentât, pendant un certain nombre d'années, chacun de ces subsides de quelques centaines de francs, en exigeant de la part des sociétés agricoles de consacrer cet argent à la destination spéciale que nous avons en vue.

La commission est d'avis qu'il convient d'émettre les vœux suivants :

Le Conseil supérieur des ministres recommande au Gouvernement :

*1° De demander aux conférenciers agricoles et aux professeurs nomades de traiter fréquemment et avec tous les développements qu'elle mérite, la question de l'utilisation rationnelle des matières fertilisantes produites dans la ferme ;*

*2° D'accorder aux sociétés agricoles, principalement à l'occasion des expositions et des concours de fermes, un subside spécial destiné à récompenser par des primes les efforts faits pour la réalisation de ce progrès.*

# ACTES OFFICIELS

## MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

### ARRÊTÉ

LE MINISTRE DE L'AGRICULTURE,

ARRÊTE :

ART. 1er.

Une Commission spéciale est instituée près du Ministère de l'agriculture, sous le nom de *Comité consultatif des Stations agronomiques et des laboratoires agricoles.*

ART. 2.

Ce Comité est chargé de l'étude et de l'examen de toutes les questions relatives aux Stations agronomiques et aux laboratoires agricoles qui lui sont soumises par le Ministre et spécialement en ce qui concerne :

L'organisation et le fonctionnement de ces établissements ;

La création de nouvelles Stations et de nouveaux laboratoires ;

Les méthodes d'analyse à généraliser dans les Stations et laboratoires ;

Les travaux et recherches à y entreprendre ;

Les subventions à leur accorder.

Il reçoit en communication les rapports des directeurs des Stations et des laboratoires et indique ceux de ces rapports qu'il peut être utile de livrer à la publicité officielle.

Il présente enfin chaque année un compte rendu général des travaux effectués par les Stations et les laboratoires et donne son avis sur les réformes et les améliorations à introduire dans ces établissements.

ART. 3.

Le *Comité consultatif des Stations agronomiques et des laboratoires agricoles* est composé de 10 membres. Il comprend le directeur de l'Agriculture et deux membres élus, dans le courant de janvier, l'un par les

directeurs de Stations agronomiques et par les directeurs de laboratoires agricoles, et le 2e par la chambre syndicale des engrais chimiques.

Les membres nommés par le Ministre et les membres élus sont renouvelables par tiers chaque année. Les membres sortants ne peuvent être renommés qu'après un intervalle d'un an au moins.

Le président et le secrétaire sont nommés par le Ministre.

Art. 4.

Le directeur de l'Agriculture est chargé de l'exécution du présent arrêté.

Fait à Paris, le 11 août 1885.

Hervé-Mangon.

---

## MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

---

## ARRÊTÉ

Le Ministre de l'Agriculture,

Vu l'arrêté en date de ce jour, instituant le *Comité consultatif des Stations agronomiques et des laboratoires agricoles* ;

Arrête :

Art. 1er.

Sont nommés membres du *Comité consultatif des Stations agronomiques et des laboratoires agricoles :*

MM. Cornu, professeur administrateur du Muséum d'histoire naturelle.
Aimé Girard, professeur de technologie agricole à l'Institut national agronomique.
Liébaut, ingénieur-constructeur à Paris.
Muntz, chef des travaux chimiques à l'Institut national agronomique.
Prillieux, inspecteur général de l'Enseignement agricole.
Risler, directeur de l'Institut national agronomique.
Schlœsing, membre de l'Institut, professeur de chimie agricole à l'Institut national agronomique.
Tisserand, directeur de l'Agriculture.

Art. 2.

M. Tisserand remplira les fonctions de président et M. Muntz celles de secrétaire.

Art. 3.

Un tirage au sort indiquera l'ordre dans lequel sortiront les sept premiers membres désignés à l'article 1er ainsi que les deux membres élus pendant la première période triennale.

Art. 4.

Le conseiller d'État, directeur de l'Agriculture, est chargé de l'exécution du présent arrêté.

Fait à Paris, le 11 août 1885.

Hervé-Mangon.

En exécution des arrêtés précédents, M. le Ministre de l'Agriculture a adressé aux directeurs des Stations agronomiques et des laboratoires agricoles la circulaire suivante

*Paris, le 21 décembre 1885.*

Monsieur,

Par arrêté en date du 11 août 1885, dont vous trouverez le texte ci-inclus, il a été institué auprès du Ministère de l'Agriculture, un *Comité consultatif des Stations agronomiques et des laboratoires agricoles.*

Ce Comité est chargé de l'étude et de l'examen de toutes les questions relatives aux Stations agronomiques et aux laboratoires agricoles et spécialement en ce qui concerne l'organisation et le fonctionnement de ces établissements, la création de nouvelles Stations et de nouveaux laboratoires ; les méthodes d'analyses à y généraliser, les travaux et recherches à y entreprendre ; les subventions à leur accorder.

Aux termes de l'article 3 de cet arrêté, le Comité doit comprendre un membre élu dans le courant de janvier par les directeurs des Stations agronomiques et les directeurs de laboratoires agricoles.

J'ai décidé que le dépouillement des bulletins de vote serait effectué par les membres du Comité nommés par l'arrêté du 11 août 1885 que vous trouverez ci-inclus.

Pour être élus au premier tour de scrutin, les candidats devront réunir la majorité absolue des suffrages exprimés, et le nombre des votants devra atteindre au moins le quart des électeurs inscrits dont la liste est ci-jointe.

Les bulletins de vote seront renfermés dans une première enveloppe cachetée portant la mention :

*Comité consultatif des Stations agronomiques et des laboratoires agricoles. Élection d'un membre du Comité.*

Cette première enveloppe sera sans signes extérieurs pouvant faire connaître le nom de l'électeur. Elle sera renfermée dans une seconde enveloppe cachetée et portant la mention

*Élection pour le Comité consultatif des Stations agronomiques et des laboratoires agricoles.*

*Bulletin de vote de M*

*Directeur de*

Le tout sera mis sous enveloppe à l'adresse de M. le Ministre de l'Agriculture à Paris.

Ces bulletins de vote devront être parvenus au ministère, le 15 janvier 1886 au plus tard.

En cas de ballottage, des instructions vous seront adressées, pour le deuxième tour de scrutin qui aura lieu 15 jours après.

Recevez, Monsieur, l'assurance de ma considération distinguée.

*Le Ministre de l'Agriculture,*
GOMOT.

La lettre ministérielle était accompagnée de la liste suivante comprenant les noms des électeurs appelés à désigner le délégué des stations agronomiques et des laboratoires agricoles.

## Liste des Électeurs

MM ANDOUARD, directeur de la Station agronomique de Nantes (Loire-Inférieure).

BARRÉ, directeur du laboratoire agricole de Vitry-le-François (Marne).

BARROIS, directeur du laboratoire agricole de Villefranche (Alpes-Maritimes).

BAUDOIN, directeur du laboratoire agricole de Cognac (Charente).

BERTHELOT, sénateur, membre de l'Institut, directeur de la Station de chimie végétale, à Meudon (Seine-et-Oise).

CHAUZIT, professeur départemental d'agriculture, directeur du laboratoire agricole de Nîmes (Gard).

DANGUY, pharmacien, directeur du laboratoire vinicole de La Ferté (Loiret).

MM. DITTE, professeur à la Faculté des sciences de Caen, directeur de la Station agronomique de Caen (Calvados).

DUBERNARD, directeur de la Station agronomique de Lille (Nord).

DUCLAUX, professeur à l'Institut national agronomique et à la Faculté des sciences, directeur de la Station laitière du Fau (Cantal)

GAILLOT, directeur du laboratoire agricole de Béthune (Pas-de-Calais).

GAROLA, professeur départemental d'agriculture, directeur de la Station agronomique de Chartres (Eure-et-Loir).

GASSEND, directeur de la Station agronomique de Melun (Seine-et-Marne).

GAYON, professeur à la Faculté des sciences, directeur de la Station agronomique de Bordeaux (Gironde).

GRANDEAU, professeur, doyen de la Faculté des sciences, directeur de la Station agronomique de l'Est (Meurthe-et-Moselle).

GRANDVOINNET, professeur départemental de l'agriculture, directeur du laboratoire agricole de Bourg (Ain).

GUINON, directeur de la Station agronomique de Châteauroux (Indre).

HOUZEAU, directeur de la Station agronomique de Rouen (Seine-Inf.).

DE LACAZE-DUTHIERS, membre de l'Institut, professeur de la Faculté des sciences de Paris, directeur de la Station zoologique de Banyuls (Pyrénées-Orientales).

LAUROT, directeur du laboratoire agricole de Granville (Manche).

LECHARTIER, professeur à la Faculté des sciences, directeur de la Station agronomique de Rennes (Ille-et-Vilaine).

LEIZOUR, professeur départemental d'agriculture, directeur du laboratoire agricole de Laval (Mayenne).

LEVALLOIS, directeur de la Station agronomique de Nice (Alpes-Maritimes).

LE VERRIER, directeur du laboratoire agricole de St-Étienne (Loire).

MANCHERON, professeur départemental d'agriculture, directeur du laboratoire agricole de Nevers (Nièvre).

MARGOTTET, directeur de la Station agronomique de Dijon (Côte-d'Or).

NANTIER, directeur de la Station agronomique d'Amiens (Somme).

PAGNOUL, directeur de la Station agronomique d'Arras (Pas-de-Calais).

PARIZE, directeur de la Station agronomique de Morlaix (Finistère).

PENEAU, directeur de la Station agronomique de Bourges (Cher).

PICHARD, directeur de la Station agronomique d'Avignon (Vaucluse).

RAULIN, professeur à la Faculté des sciences, directeur du laboratoire agricole de Lyon (Rhône).

SAUVAGE, directeur de la Station agricole de Boulogne (Pas-de-Calais).

SCHRIBAUX, directeur de la Station d'essais de semences de Joinville-le-Pont (Seine).

MM. DE LA SOUCHÈRE, professeur, directeur du laboratoire agricole de Marseille (Bouches-du-Rhône).

THOMAS, professeur à l'école pratique d'agriculture du Lézardeau, directeur de la Station agronomique du Lézardeau (Finistère).

TRUCHOT, professeur à la Faculté des sciences, directeur de la Station agronomique de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

VAUCHEZ, professeur départemental d'agriculture, directeur du laboratoire agricole de la Roche-sur-Yon (Vendée).

VILLE (Georges), professeur au Muséum d'histoire naturelle, directeur du champ d'expériences de Vincennes (Seine).

DE WULFF, professeur à l'école pratique d'agriculture de la Brosse, directeur de la Station agronomique d'Auxerre (Yonne).

Les membres du Comité consultatif nommés par le Ministre se sont réunis le 15 janvier 1886, sous la présidence de M. E Tisserand, pour procéder au dépouillement du scrutin des votes des directeurs des Stations agronomiques et des laboratoires agricoles.

Le dépouillement de ce scrutin a donné les résultats suivants :

| | |
|---|---|
| Nombre des électeurs. . . . . . . . . | 40 |
| Nombre des votants. . . . . . . . . . | 35 |
| Majorité. . . . . . . . . . . . . . . | 18 |

Ont obtenu :

| | |
|---|---|
| M. L. Grandeau. . . . . . . . . . . . | 20 voix. |
| M. Berthelot. . . . . . . . . . . . . | 9 voix. |

MM. Duclaux, Lecouteux, Levallois, Houzeau, Lechartier, Gayon, chacun 1 voix.

En conséquence, M. L. Grandeau a été proclamé membre du Comité consultatif.

La chambre syndicale des fabricants d'engrais a désigné M. Joulie pour son représentant au Comité.

Dans sa séance du 2 février, le Comité définitivement constitué a décidé de se réunir tous les mois.

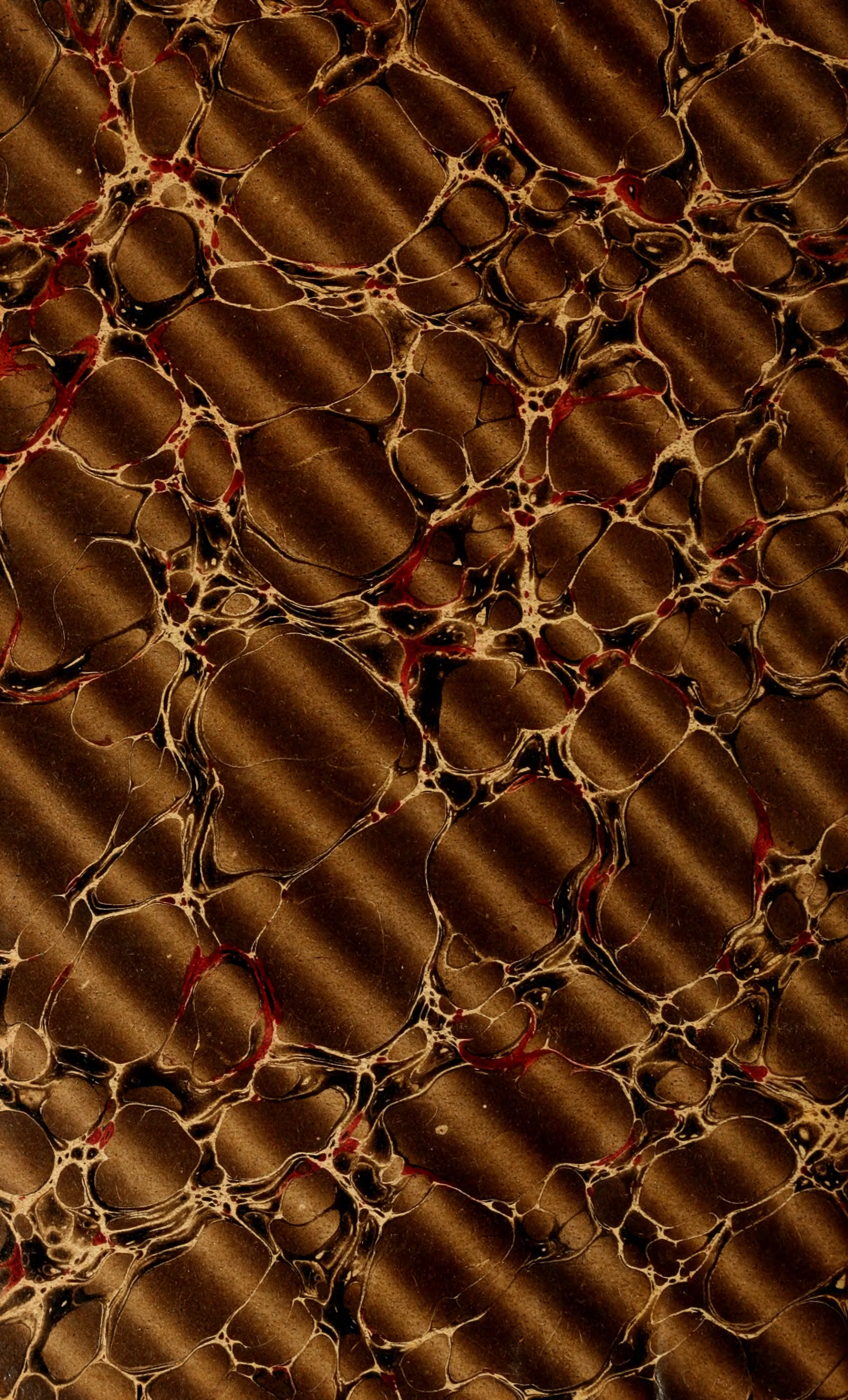
# TABLE DES MATIÈRES

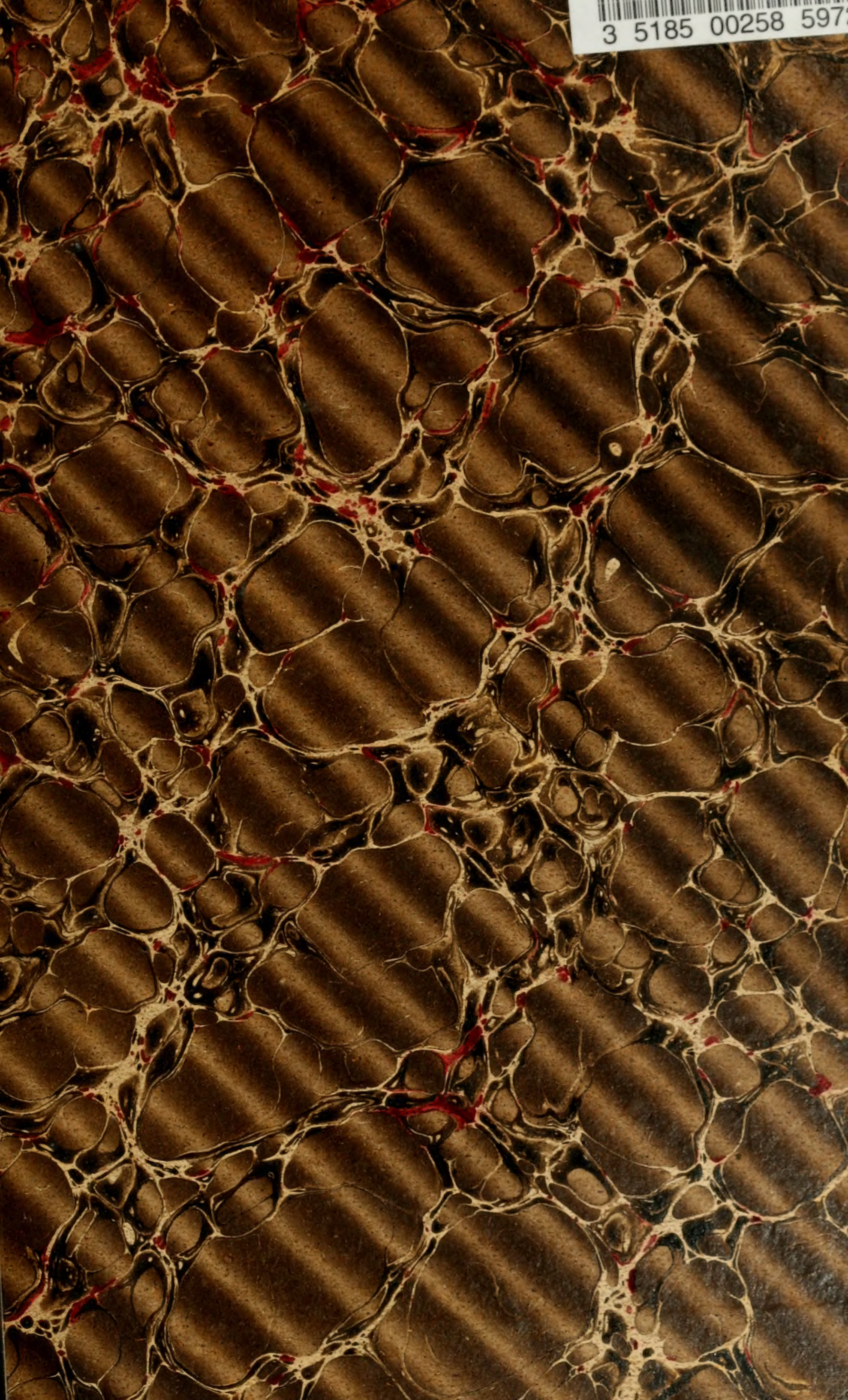
## DU TOME PREMIER

Pages.



Nancy impr. Berger-Levrault et Cie.




3 5185 00258 597

